

ISBN: 978-602-8039-04-8

TANAH SAWAH BUKAAN BARU



Penyunting: Fahmuddin Agus, Wahyunto, dan Djoko Santoso



BALAI BESAR LITBANG SUMBERDAYA LAHAN PERTANIAN
Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian
Departemen Pertanian
2007



Penanggung jawab : Kepala Balai Penelitian Tanah

Penyunting : Fahmuddin Agus
Djoko Santoso
Wahyunto

Redaksi Pelaksana : Herry Sastramihardja
Sri Erita Aprillani
Farida Manalu

Foto sampul : Imam Purwanto

Setting/Layout : Didi Supardi

Penerbit : Balai Besar Penelitian dan Pengembangan
Sumberdaya Lahan Pertanian (BBSDLP)
Jl. Ir. H. Juanda 98 Bogor 16123,
Jawa Barat
Telp. (0251) 323012, Fax : (0251) 311256
E-mail : csar@indosat.net.id

Penulisan dan pencetakan buku ini dibiayai dengan dana DIPA
Tahun Anggaran 2007, Balai Penelitian Tanah, Bogor
<http://balittanah.litbang.deptan.go.id>

KATA PENGANTAR

Dalam rangka mempertahankan ketahanan pangan, usaha berikut perlu dilaksanakan secara simultan: (i) pengendalian konversi lahan pertanian; (ii) perluasan areal pertanian; dan (iii) intensifikasi pertanian.

Perluasan areal pertanian, khususnya pencetakan sawah baru, dihadapkan pada berbagai tantangan seperti rendahnya tingkat kesuburan tanah, borosnya penggunaan air karena belum terbentuknya lapisan tapak bajak dan rendahnya aktivitas mikroba di dalam tanah. Buku ini membahas tentang tanah sawah buka-an baru, mulai dari aspek potensi lahan, genesis sampai pada pengelolaan tanah baik dari aspek kimia, fisik, biologi, maupun pengelolaan air.

Faktor sosial ekonomi dan budaya juga merupakan penentu pengelolaan sawah baru secara berkelanjutan. Aspek tersebut diuraikan secara ringkas pada bab terakhir buku ini.

Diharapkan buku ini dapat dimanfaatkan oleh lembaga yang bergerak di bidang perluasan areal pertanian dan pengelolaan lahan pertanian. Selain itu kalangan akademis juga mendapatkan manfaat dari buku ini.

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Balai Penelitian Tanah dan semua pihak yang telah berkontribusi dalam penyusunan buku ini. Semoga hasil karya ini bermanfaat dalam mendukung pemantapan ketahanan pangan dan pembangunan pertanian nasional.

Bogor, Desember 2007
Balai Besar Penelitian dan Pengembangan
Sumberdaya Lahan Pertanian
Kepala,

Prof. Dr. Irsal Las, MS.
NIP. 080 037 663

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|--|---------|
| KATA PENGANTAR | i |
| DAFTAR ISI | iii |
| 1. PENDAHULUAN | |
| <i>Fahmuddin Agus</i> | 1 |
| 2. SEBARAN DAN POTENSI PENGEMBANGAN LAHAN SAWAH BUKAAN BARU | |
| <i>Sofyan Ritung dan Nata Suharta</i> | 5 |
| 3. GENESIS TANAH SAWAH BUKAAN BARU | |
| <i>B. H. Prasetyo</i> | 25 |
| 4. PERUBAHAN SIFAT KIMIA TANAH DAN AMELIORASI SAWAH BUKAAN BARU | |
| <i>Wiwik Hartatik, Sulaeman, dan A. Kasno</i> | 53 |
| 5. REKOMENDASI PEMUPUKAN PADI SAWAH BUKAAN BARU | |
| <i>Diah Setyorini, Didi Ardi Suriadikarta, dan Nurjaya</i> | 77 |
| 6. PENGELOLAAN SIFAT FISIK TANAH SAWAH BUKAAN BARU | |
| <i>Ai Dariah dan Fahmuddin Agus</i> | 107 |
| 7. PENGELOLAAN AIR SAWAH BUKAAN BARU | |
| <i>Haris Syahbuddin, Husein Suganda, dan Husnain</i> | 131 |
| 8. PROSPEK PENGGUNAAN PUPUK HAYATI PADA SAWAH BUKAAN BARU | |
| <i>Rasti Saraswati dan Edi Husen</i> | 151 |
| 9. EPILOG | |
| <i>Fahmuddin Agus dan Neneng L. Nurida</i> | 175 |

1. PENDAHULUAN

Fahmuddin Agus

Dalam rangka mempertahankan ketahanan pangan, usaha berikut perlu dilaksanakan secara simultan (Agus dan Mulyani, 2006): (i) pengendalian konversi lahan pertanian; (ii) mencetak lahan pertanian baru; dan (iii) intensifikasi sistem pertanian dengan menerapkan teknologi yang dapat meningkatkan produktivitas dan sekaligus mempertahankan kualitas lingkungan.

Dengan bertambahnya jumlah penduduk dan meningkatnya kebutuhan akan lahan untuk berbagai sektor, data menunjukkan bahwa konversi lahan justru mengalami peningkatan, dan di lain pihak pencetakan lahan pertanian baru (ekstensifikasi) mengalami perlambatan (Agus *et al.*, 2006). Teknologi pertanian mengalami kemajuan yang cukup berarti, namun penerapan teknologi di tingkat petani berjalan relatif lambat sehingga peningkatan produktivitas, misalnya padi, rata-rata hanya di bawah 1% tahun⁻¹. Resultante dari ketiga proses ini menyebabkan kenaikan produksi beras nasional praktis mengalami stagnasi (*levelling off*) (Adiningsih, 1997).

Beras merupakan komoditas strategis ditinjau dari aspek sosial, ekonomi, politik dan budaya Indonesia. Dengan demikian, walaupun secara teoritis ketahanan pangan mengandung aspek yang sangat luas, termasuk kemampuan mengadakan bahan pangan baik yang bersumber dari dalam, maupun dari luar negeri, namun dalam berbagai kebijakan pembangunan pertanian, usaha pencapaian ketahanan pangan sebagian besar difokuskan pada peningkatan kemandirian (*self sufficiency*) beras. Gerakan Peningkatan Produksi Beras Nasional (P2BN) yaitu peningkatan produksi beras nasional sekitar 5% tahun⁻¹ pada tahun 2007-2009 dan (kelihatannya akan dilanjutkan dengan) gerakan-gerakan serupa pada tahun-tahun berikutnya, merupakan salah satu bukti bahwa salah satu fokus pembangunan pertanian Indonesia adalah peningkatan kemandirian beras.

Sejak pertengahan tahun 1990an ekstensifikasi lahan sawah mengalami perlambatan (BPS, 1995-2005). Perlambatan ekstensifikasi ditambah dengan

desakan terhadap lahan sawah untuk pembangunan sektor lain menyebabkan luas baku lahan sawah mengalami penyusutan dari sekitar 8,4 juta ha pada tahun 1993 menjadi sekitar 7,9 juta ha pada tahun 2005. Pada umumnya lahan sawah yang mengalami konversi adalah lahan yang mempunyai produktivitas tinggi di Pulau Jawa dan di sekitar pusat pembangunan di luar Pulau Jawa (Agus *et al.*, 2006). Sebaliknya lahan yang baru dibuka mempunyai berbagai kendala mulai dari kendala fisik (Dariah *et al.*, dalam buku ini), kimia (Setyorini *et al.*, dalam buku ini) dan biologi (Saraswati *et al.* dalam buku ini), serta berbagai kendala sosial, kelembagaan, infrastruktur, dan rendahnya tingkat keuntungan. Dengan demikian, sebagian lahan sawah yang baru dibuka tidak dapat digunakan secara optimal oleh penduduk setempat sehingga beralih fungsi untuk penggunaan lain seperti perkebunan kelapa sawit dan karet.

Walaupun cukup banyak tantangan dalam ekstensifikasi lahan sawah, namun salah satu program dalam Revitalisasi Pertanian, Perikanan dan Kehutanan (RPPK) (Departemen Pertanian, 2005) adalah perluasan lahan pertanian dan penetapan lahan abadi untuk lahan pertanian beririgasi (sawah) seluas 15 juta ha; dua kali luas sawah baku yang ada sekarang. Walaupun target 15 juta ha tersebut akan sangat sulit dicapai dalam satu-dua dekade yang akan datang, namun sekurang-kurangnya pemerintah akan berusaha meningkatkan perluasan lahan sawah untuk menutupi penyusutan disebabkan konversi. Perluasan sawah pada periode 1999-2002 mencapai sekitar 46,000 ha tahun⁻¹ (Sutomo, 2004). Prediksi yang dilakukan oleh Agus *et al.* (2006) menyebutkan bahwa apabila konversi lahan sawah terjadi pada laju 100,000 per tahun maka untuk mempertahankan swasembada beras, pencetakan lahan sawah baru harus tidak kurang dari 150,000 ha tahun⁻¹. Prediksi tersebut didasarkan atas berbagai asumsi optimis antara lain bahwa lahan sawah yang baru dibuka mampu berproduksi sebanyak 2,5 t ha⁻¹ dengan indeks panen rata-rata 150%.

Buku ini membahas tentang tanah sawah bukaan baru, mulai dari aspek potensi lahan untuk pengembangan sawah bukaan baru, genesis tanah sawah bukaan baru sampai pada pengelolaan tanah sawah baik dari aspek kimia, fisik, biologi, maupun pengelolaan air untuk tanah sawah bukaan baru.

Bab terakhir dari buku ini membahas aspek sosial ekonomi sawah bukaan baru. Bab ini dianggap penting, karena pengalaman menunjukkan selain berbagai kendala teknis pengelolaan sawah bukaan baru terdapat pula kendala sosial ekonomis sehingga sawah bukaan baru yang sudah dicetak tidak digarap oleh penduduk setempat.

Sawah bukaan baru dapat didefinisikan dari dua aspek:

- (i) Waktu sejak sawah tersebut dicetak. Biasanya sawah yang dicetak dalam 10 tahun terakhir dikategorikan sebagai sawah bukaan baru.
- (ii) Sifat tanah sawah bukaan baru. Sawah bukaan baru dicirikan oleh belum terbentuknya lapisan tapak bajak, sehingga penggunaan airnya relatif boros. Sawah bukaan baru yang berasal dari Mollisols relatif cepat membentuk lapisan tapak bajak dan sebaliknya yang berasal dari Oxisols atau Ultisols dengan agregat mantap, akan sulit membentuk lapisan tapak bajak.

Bahasan dalam buku ini terutama difokuskan untuk tanah sawah bukaan baru yang berasal dari lahan kering, bukan dari lahan gambut atau lahan rawa. Sawah dari lahan gambut dan rawa dibahas secara detail dalam Alihamsah *et al.* (2006).

DAFTAR PUSTAKA

- Adiningsih, J.S., T. Prihatini, J. Purwani, and A. Kentjanasari. 1997. Development of integrated fertilizer management to sustain food crop production in Indonesia: The use of organic and biofertilizers. *Indonesian Agricultural Research and Development Journal* 19: 57-66.
- Agus, F., I. Irawan, H. Suganda, W. Wahyunto, A. Setyanto, and M. Kundarto. 2006. Environmental multifunctionality of Indonesian agriculture. *Jurnal: Paddy Water Environment* 4: 181-188.
- Agus, F., dan Irawan. 2006. Agricultural land conversion as a threat to food security and environmental quality. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian* 25(3): 90-98.

- Agus, F., and A. Mulyani. 2006. Judicious use of land resources for sustaining Indonesian rice self sufficiency. Rice Industry, Culture and Environment, Book 1. Indonesian Center for Rice Research, Sukamandi, Indonesia.
- Alihamsah. 2006. Pengelolaan Lahan Gambut. Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa. Banjar Baru.
- BPS (Badan Pusat Statistik). 1995-2005. Statistik Indonesia. BPS. Jakarta.
- Departemen Pertanian. 2005. Revitalisasi Pertanian, Perikanan, dan Kehutanan 2005-2025. Departemen Pertanian Jakarta.
- Sutomo, S. 2004. Analisa data konversi dan prediksi kebutuhan lahan. hlm. 135-149 *dalam* Hasil Round Table II Pengendalian Konversi dan Pengembangan Lahan Pertanian. Direktorat Perluasan Areal, Dirjen Bina Produksi Tanaman Pangan, Departemen Pertanian, Jakarta.

2. SEBARAN DAN POTENSI PENGEMBANGAN LAHAN SAWAH BUKAAN BARU

Sofyan Ritung dan Nata Suharta

Pendahuluan

Penduduk Indonesia dari tahun ke tahun semakin bertambah dengan pertumbuhan sekitar 1,5% tahun⁻¹, sehingga mendorong permintaan pangan terus meningkat. Sementara lahan pertanian khususnya lahan sawah, yang luasnya mencapai 7,7 juta ha (BPS, 2005) ternyata belum mampu memenuhi kebutuhan pangan Indonesia terutama beras, jagung, dan kedelai, sehingga perlu ditambah dengan impor yang pada dekade terakhir jumlahnya meningkat. Irawan (2005) memperkirakan potensi pengadaan beras impor pada tahun 2010 adalah 4,12 juta ton. Swastika *et al.* (2000) memproyeksikan pada tahun 2010 impor kedelai dan jagung masing-masing akan mencapai 1,8 dan 1,5 juta ton. Agus dan Irawan (2006) memperkirakan bahwa tahun 2025 Indonesia akan harus mengimpor 11,4 juta ton beras jika konversi lahan sawah berjalan secepat 190.000 ha tahun⁻¹ dan pencetakan sawah mencapai 100.000 ha tahun⁻¹.

Lahan sawah merupakan penghasil utama beras. Sebagai gambaran, pada tahun 2003 dari total luas panen sekitar 11,5 juta ha dengan produksi padi sebesar 52,1 juta ton; 49,3 juta ton padi (94,7%) diantaranya dihasilkan dari lahan sawah dengan luas panen 10,4 juta ha dan sisanya 2,8 juta ton (5,3%) dari lahan kering dengan luas panen 1,1 juta ha. Rata-rata produktivitas padi sawah 4,7 t ha⁻¹ dan padi ladang 2,5 t ha⁻¹ (BPS, 2003).

Telah terjadi konversi lahan sawah produktif ke lahan non-pertanian (pemukiman, perkotaan dan infrastruktur, serta kawasan industri). Dalam periode 1981-1999 konversi lahan sawah nasional mencapai 1,628 juta ha di mana sekitar 61,6% terjadi di Pulau Jawa (Sudaryanto, 2000 *dalam* Puslitbangtanak, 2003). Sebagian besar lahan sawah yang terkonversi tersebut pada mulanya beririgasi teknis atau setengah teknis dengan produktivitas tinggi (Sumaryanto, 2001). Data dari BPS menunjukkan bahwa konversi lahan sawah cenderung meningkat, yakni dalam periode 1983-1993 rata-rata 40.000 ha tahun⁻¹, sedangkan pada periode

1993-2003 rata-rata menjadi 80.000 ha tahun⁻¹. Bahkan pada periode 1999-2002 konversi lahan sawah mencapai sekitar 187.720 ha tahun⁻¹ (Sutomo, 2004). Hal ini menunjukkan bahwa laju konversi lahan sawah mengalami percepatan dan jika kecenderungan ini berlanjut akan dapat mengancam ketahanan pangan nasional.

Pulau Jawa semakin sulit diandalkan sebagai pemasok pangan nasional, karena: (1) alih fungsi lahan yang terus berlangsung; (2) pemenuhan kebutuhan di Jawa sendiri; dan (3) menurunnya kecukupan air untuk pertanaman padi. Menurut Las *et al.* (2000), pada tahun 2000 Pulau Jawa surplus padi 4 juta ton, namun pada tahun 2010 surplus padi diperkirakan hanya sebesar 0,26 juta ton. Sementara di luar Pulau Jawa, permintaan pangan juga terus meningkat. Dengan menurunnya laju peningkatan produksi padi, maka dalam jangka panjang produksi padi diperkirakan tidak akan mampu memenuhi permintaan, apabila konversi tetap berlanjut dan perluasan lahan pertanian tidak direalisasikan.

Dalam jangka panjang perluasan areal lahan sawah mutlak perlu dilaksanakan secara terkendali dan bijaksana, terutama untuk mengganti lahan-lahan sawah produktif yang dikonversi. Bab ini menguraikan tentang sebaran sawah bukaan baru dan lahan yang berpotensi untuk pengembangan lahan sawah.

Luas dan sebaran lahan sawah bukaan baru

Lahan sawah bukaan baru adalah lahan sawah yang dikonversi dari lahan kering dengan lapisan tapak bajak belum terbentuk (Didi Ardi dan Wiwik Hartatik, 2004). Lapisan tapak bajak adalah lapisan yang terbentuk di bawah lapisan olah dan terbentuk sebagai akibat adanya proses-proses oksidasi dan reduksi yang bergantian serta pelarutan atau pencucian (eluviasi) bahan-bahan kimia besi dan mangan yang kemudian diendapkan pada horizon dibawahnya (iluviasi). Pembentukan lapisan tapak bajak memerlukan waktu yang lama dan sangat bergantung pada sifat kimia tanah sawah tersebut. Di Jepang, lapisan tapak bajak dapat terbentuk pada kurun waktu antara 10 hingga 40 tahun (Kawaguchi dan Kyuma, 1977).

Luas dan sebaran lahan sawah bukaan baru dalam kurun waktu 10 tahun terakhir (periode 1995-2005) tampaknya tidak terlalu luas. Sutomo (2004) menyatakan bahwa selama periode 1999-2002 terjadi penambahan lahan sawah

di Indonesia seluas 139.302 ha, yakni terdapat di Jawa seluas 18.024 ha dan luar Jawa seluas 121.278 ha (Tabel 1). Irawan *et al.* (2001), menghitung neraca lahan sawah dari tahun 1981-1999, hasilnya menunjukkan bahwa pada periode tersebut terjadi konversi lahan seluas 1,6 juta ha, tetapi juga terjadi penambahan lahan sawah (dari pencetakan sawah baru) seluas 3,2 juta ha, sehingga ada pertambahan lahan sawah seluas 1,6 juta ha.

Tabel 1. Neraca luas lahan sawah tahun 1981-1999 dan 1999-2002

| Wilayah | Konversi | Penambahan | Neraca |
|------------------------------|------------------|------------|------------|
| | | | |
| Tahun 1981-1999 ¹ | | | |
| Jawa | 1.002.055 | 518.224 | -483.831 |
| Luar Jawa | 625.459 | 2.702.939 | +2.077.480 |
| Indonesia | 1.627.514 | 3.221.163 | +1.593.649 |
| Tahun 1999-2002 ² | | | |
| Jawa | 167.150 | 18.024 | -107.482 |
| Luar Jawa | 396.009 | 121.278 | -274.732 |
| Indonesia | 563.159 | 139.302 | -423.857 |
| | (+190.000 ha/th) | | |

Sumber: 1. Irawan *et al.* (2001)

2. Sutomo (2004)

Berdasarkan data dari Direktorat Perluasan Areal (2007), luas lahan sawah bukan baru pada tahun 2006 adalah seluas 6.764 ha, tersebar di 75 kabupaten pada 22 provinsi (Tabel 2). Untuk tahun 2007 Direktorat Perluasan Areal merencanakan pencetakan sawah pada 99 wilayah kabupaten seluas 18.446 ha. Data ini menunjukkan bahwa pencetakan sawah jauh lebih rendah dari alihfungsi lahan sawah ke non-pertanian. Berbagai kendala dalam perluasan sawah antara lain (i) belum tersedianya data penyebaran lahan yang potensial skala operasional (1:25.000-1:50.000); (ii) status kepemilikan lahan baik sebagai tanah adat maupun tanah negara atau kepemilikan lainnya; (iii) ketersediaan air irigasi; (iv) jumlah penduduk di wilayah potensial, dan sebagainya.

Menurut data dari PU pada 2004 terdapat potensi lahan irigasi seluas 360.000 ha yang sudah ada jaringan utama tetapi belum menjadi sawah (Direktorat Perluasan Areal, 2006a). Dari data tersebut menunjukkan adanya peluang untuk perluasan sawah karena telah tersedia sarana irigasinya.

Tabel 2. Luas realisasi dan rencana pencetakan sawah tahun 2006 dan 2007

| No. | Provinsi | Realisasi 2006 | | Rencana 2007 | |
|---------------|---------------------|------------------|--------------|------------------|---------------|
| | | Jumlah kabupaten | Luas Ha | Jumlah kabupaten | Luas Ha |
| 1 | NAD | | | 3 | 300 |
| 2 | Sumatera Utara | | | 1 | 350 |
| 3 | Sumatera Barat | 4 | 170 | 4 | 400 |
| 4 | Riau | 8 | 216 | 5 | 500 |
| 5 | Kepulauan Riau | | | 1 | 100 |
| 6 | Bangka Belitung | 2 | 50 | 2 | 125 |
| 7 | Jambi | 3 | 90 | 3 | 300 |
| 8 | Bengkulu | 3 | 150 | 2 | 160 |
| 9 | Sumatera Selatan | 2 | 95 | 4 | 850 |
| 10 | Lampung | 5 | 151 | 1 | 100 |
| 11 | Kalimantan Barat | 7 | 1.020 | 8 | 1.126 |
| 12 | Kalimantan Tengah | 3 | 80 | 4 | 615 |
| 13 | Kalimantan Selatan | 5 | 126 | 6 | 2.274 |
| 14 | Kalimantan Timur | 2 | 200 | 5 | 1.880 |
| 15 | Sulawesi Utara | 1 | 200 | 2 | 100 |
| 16 | Sulawesi Tengah | 6 | 1.283 | 8 | 2.200 |
| 17 | Sulawesi Selatan | 1 | 200 | 4 | 600 |
| 18 | Sulawesi Tenggara | 3 | 1.000 | 8 | 1.100 |
| 19 | Gorontalo | 1 | 50 | 2 | 400 |
| 20 | Sulawesi Barat | 1 | 50 | 4 | 1.000 |
| 21 | Nusa Tenggara Timur | 1 | 100 | 2 | 190 |
| 22 | Nusa Tenggara Barat | | | 1 | 26 |
| 23 | Papua | 4 | 450 | 10 | 1.450 |
| 24 | Papua Barat | 4 | 642 | 3 | 650 |
| 25 | Maluku | 5 | 262 | 3 | 900 |
| 26 | Maluku Utara | 4 | 179 | 3 | 750 |
| Jumlah | | 75 | 6.764 | 99 | 18.446 |

Sumber: Direktorat Perluasan Areal (2007)

Pada tahun 1994 perluasan sawah melalui Proyek PIDP (*Provincial Irrigated Agriculture Development Project*) dari Direktorat Bina Rehabilitasi dan Pengembangan Lahan, Deptan telah melakukan pemetaan tanah detail dan semi-detail di tujuh lokasi di Sumatera (Sei Tambang-Riau, Muko-muko dan Air

Seluma-Bengkulu, Air Gegas dan Air Kesie II-Sumsel, Way Umpu dan Way Rarem-Lampung) pada lahan seluas 8.635 ha (Suharta dan Soekardi, 1994a). Hasil pemetaan tersebut menunjukkan bahwa lahan yang sesuai untuk dikembangkan sawah irigasi 6.552 ha (66%). Sedangkan di Kalimantan dan Sulawesi, dari areal seluas 6.317 ha yang tersebar di enam lokasi (Sanggaulelo dan Merowi-Kalbar, Trinsing-Kalteng, Batulicin-Kalsel, dan Lambunu-Sulteng), seluas 4.414 ha atau 61,3% dapat dikembangkan untuk lahan sawah irigasi (Suharta dan Soekardi, 1994b). Wilayah lainnya yang tidak sesuai untuk lahan sawah irigasi, dapat dikembangkan untuk lahan sawah rawa, tanaman pangan lahan kering, atau tanaman tahunan.

Daerah lain yang juga telah dilakukan pemetaan tanah detail untuk pengembangan lahan sawah baru melalui kerjasama Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat adalah di enam kecamatan di Kabupaten Merauke dalam rangka pengembangan lahan rawa. Wilayahnya meliputi 15 lokasi yang tersebar di wilayah Kecamatan Kimaam (6 lokasi), Okaba (2 lokasi), Edera (1 lokasi), Nambioman Bapai (4 lokasi), dan Obaa (2 lokasi) dengan luas total 1.809 ha. Demikian pula dengan daerah Kabupaten Sumbawa Besar dengan membangun bendungan di sungai/Brang Mama dan Brang Batubulan untuk mengairi lahan sawah yang akan dibuka.

Kriteria kesesuaian lahan untuk sawah

Untuk pembukaan lahan sawah baru diperlukan beberapa persyaratan teknis (terutama biofisik) dan non-teknis. Persyaratan teknis atau biofisik meliputi beberapa parameter, yaitu: (a) topografi: elevasi dan lereng; (b) iklim, terutama ketersediaan air; (c) keadaan tanah: drainase, tekstur, kedalaman tanah, sifat-sifat kimia (KTK, salinitas, alkalinitas, pirit); (d) bahaya banjir; dan (e) penggunaan lahan (Tabel 3). Kriteria untuk lahan sawah tersebut sebagian besar mengacu pada Juknis Evaluasi Lahan (Djaenudin *et al.*, 2003).

Elevasi atau ketinggian tempat di atas permukaan laut dibatasi sampai dengan 700 m dpl. karena berkaitan dengan radiasi matahari. Pada daerah dataran tinggi dengan elevasi >700 m dpl. radiasi matahari dan suhu udara relatif rendah proses fotosintesis menjadi lambat, sehingga tanaman padi yang sesuai

adalah yang berumur panjang. Faktor kemiringan atau lereng dibatasi pada lahan berlereng <8%, walaupun di beberapa tempat terdapat sawah berteras yang lerengnya melebihi 8%. Direktorat Perluasan Areal (2006b) membatasi kemiringan lahan <5% sebagai standar teknis dalam perluasan sawah irigasi, karena berkaitan dengan jaringan irigasi dan perataan tanah (*levelling*).

Faktor iklim atau sumber air merupakan faktor pendukung utama dalam usaha tani lahan sawah. Persyaratan dalam pembukaan lahan sawah harus tersedia sumber air berupa waduk/dam, bendungan, dan sungai. Jika tidak tersedia sumber air tersebut, maka kondisi iklim khususnya curah hujan disyaratkan tergolong cukup basah yaitu tipe agroklimat A atau B menurut kriteria Oldeman (1980).

Faktor tanah yang dipertimbangkan sebagai karakteristik lahan pada tanah-tanah mineral adalah drainase, tekstur tanah, dan kedalaman tanah (Tabel 3). Sedangkan untuk tanah gambut berdasarkan ketebalan dan tingkat kematangannya. Demikian pula tanah-tanah rawa yang mengandung pirit, kedalaman pirit harus dipertimbangkan sebagai salah satu parameter.

Tabel 3. Kriteria biofisik lahan yang sesuai untuk pembukaan lahan sawah baru

| Parameter | Karakteristik lahan |
|---|--|
| 1. Elevasi (m dpl.) | ≤ 700 |
| 2. Lereng (%) | ≤ 8 |
| 3. Sumber air/iklim | - Sumber air ada dan mencukupi, atau - Jika sumber air tidak ada, maka zona agroklimat adalah A atau B (Oldeman <i>et al.</i> , 1980) |
| 4. Drainase tanah | Agak cepat sampai agak terhambat |
| 5. Tekstur tanah | Halus-sedang |
| 6. Kedalaman tanah (cm) | ≥ 50 |
| 7. Gambut: a. Ketebalan gambut | a. < 100 cm |
| b. Kematangan gambut | b. Saprik-hemik |
| 8. Kapasitas tukar kation (KTK) (cmol 100 g tanah ⁻¹) | ≥ 12 |
| 9. Salinitas (dS m ⁻¹) | ≤ 4 |
| 10. Alkalinitas (%) | ≤ 30 |
| 11. Kedalaman pirit (cm) | ≥ 50 |
| 12. Bahaya banjir | Ringan, genangan <25 cm dan lamanya <1 bulan |
| 13. Status penggunaan lahan | Rumput/alang-alang, semak, belukar, hutan konversi |

Sumber: Ritung *et al.* (2006)

Faktor lainnya adalah salinitas dan alkalinitas tanah, baik pada tanah-tanah di daerah pesisir pantai maupun tanah-tanah lainnya yang berkadar garam

tinggi. Batas atas salinitas untuk lahan sawah potensial adalah 4 dS m⁻¹. Sedangkan alkalinitas pada tanah-tanah berkadar garam tinggi dibatasi <30% (Djaenudin *et al.*, 2003). Dalam FAO Field Guide (2005) untuk penanggulangan dampak bencana Tsunami di Aceh memperkirakan bahwa jika EC <4 dS m⁻¹, maka kehilangan hasil <10%; jika EC 4-6, kehilangan hasil sekitar 10-20%; EC >6-10 dS m⁻¹, kehilangan hasil 20-50%; dan jika EC >10 dS m⁻¹, maka kehilangan hasil > 50%. Oleh karena itu FAO berpendapat bahwa EC <4 terbaik untuk perkembangan akar tanaman padi.

Potensi pengembangan lahan sawah bukaan baru

Untuk melihat berapa luas lahan yang potensial untuk pengembangan atau perluasan areal lahan sawah di masa depan, akan dibandingkan antara data luas lahan yang sesuai dengan data penggunaan lahan yang ada saat ini. Potensi lahan sawah diperoleh dari peta arahan tata ruang pertanian yang disusun oleh Puslitbangtanak (2006) skala 1:250.000 pada 20 provinsi dan Puslitbangtanak (2002) skala 1:1.000.000 untuk provinsi lainnya. Data penggunaan lahan yang digunakan berskala 1:250.000 bersumber dari Badan Pertanahan Nasional (2000-2002), Bakosurtanal (2003) dan Puslitbangtanak (2002; 2003). Kedua data spasial tersebut, yakni data potensi lahan dan penggunaan lahan ditumpang-tepatkan (*overlay*) untuk mendapatkan lahan-lahan yang masih tersedia untuk pengembangan atau perluasan areal persawahan.

Lahan-lahan potensial digolongkan tersedia apabila penggunaan lahannya belum digunakan untuk pertanian maupun penggunaan lainnya yang bersifat permanen, yaitu berupa belukar atau hutan yang dapat dikonversi. Dari hasil *overlay* tersebut, selanjutnya dikalikan dengan suatu faktor koreksi sebesar 0,7 dengan asumsi bahwa sebesar 0,3 (30%) dari lahan tersebut tidak sesuai dan sudah digunakan untuk berbagai macam penggunaan namun tidak dapat didelineasi dalam peta skala 1:250.000 yang digunakan. Potensi ketersediaan lahan sawah dibedakan antara lahan rawa dan non-rawa sesuai dengan agroekosistemnya.

Hasil perhitungan potensi lahan untuk perluasan sawah di seluruh Indonesia disajikan per pulau dan per provinsi seperti pada Tabel 4, penyebarannya disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta potensi lahan tersedia untuk perluasan sawah

Tabel 4 menunjukkan luas lahan yang berpotensi untuk perluasan sawah di seluruh Indonesia seluas 8,28 juta ha, terdiri atas potensi sawah rawa 2,98 juta ha dan sawah non-rawa 5,30 juta ha. Potensi pengembangan sawah terluas terdapat di Papua, Kalimantan, dan Sumatera, masing-masing dengan luas 5,19 juta ha, 1,39 juta ha, dan 0,96 juta ha. Di Sulawesi hanya mencakup sekitar 0,42 juta ha, Maluku dan Maluku Utara 0,24 juta ha, Nusa Tenggara dan Bali 0,05 juta ha, dan Jawa hanya 0,014 juta ha.

a. Papua

Potensi lahan untuk sawah di Papua masih sangat luas, yakni 5,19 juta ha terdiri atas lahan rawa 1,89 juta ha dan lahan non-rawa 3,29 juta ha. Lahan tersebut umumnya berupa belukar maupun hutan yang sebagian besar terdapat di daerah dataran, aluvial, dan rawa. Pada lahan tersebut terdapat tanaman spesifik seperti sagu yang banyak dijumpai di lahan basah dan bahkan sebagai makanan pokok masyarakat setempat sehingga harus tetap dilestarikan. Berdasarkan peta tanah tinjau skala 1:250.000 (Puslittanak, 1990-2004) dan peta tanah eksplorasi skala 1:1.000.000 (Puslitbangtanak, 2001), jenis tanah yang dominan di daerah ini berdasarkan klasifikasi tanah "Taksonomi Tanah" (Soil Survey Staff, 2003) adalah Endoaquepts (nama padanan menurut sistem

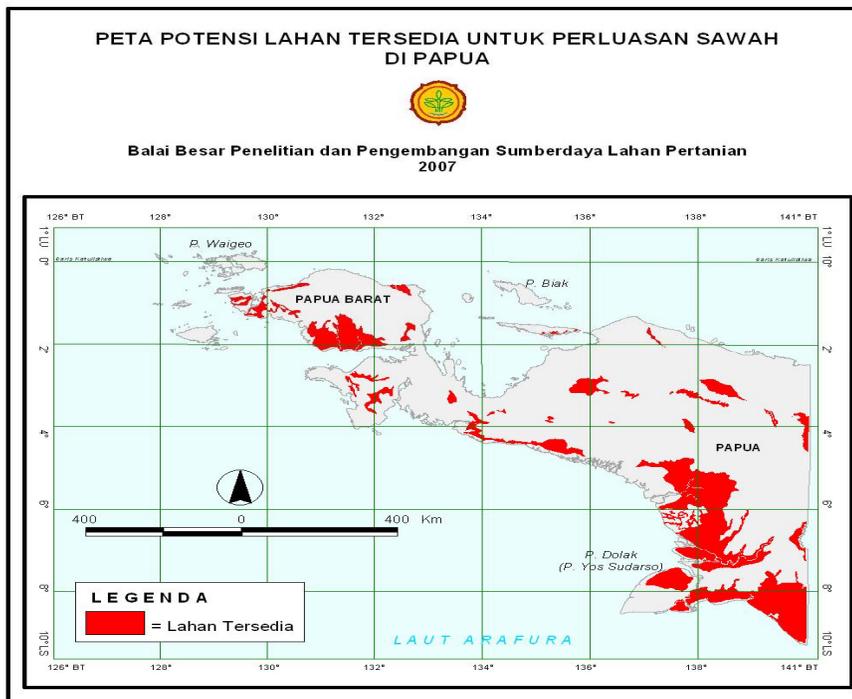
Soepraptohardjo, 1961 adalah Glei Humus, Glei Humus Rendah, Aluvial kelabu), Epiaquepts (Aluvial Kelabu), Dystrudepts (Aluvial coklat-coklat kekelabuan) dan Eutrudepts (Aluvial coklat-coklat kekelabuan).

Tabel 4. Luas lahan yang sesuai dan tersedia untuk perluasan sawah

| Pulau/provinsi | Potensi lahan sawah | | |
|-------------------------------|---------------------|------------------|------------------|
| | Rawa | Non-rawa | Total |
| | ha | | |
| 1. Nanggroe Aceh Darussalam | 3.660 | 64.601 | 68.261 |
| 2. Sumatera Utara | 6.700 | 68.800 | 75.500 |
| 3. Riau | 46.400 | 139.700 | 186.000 |
| 4. Sumatera Barat | 39.352 | 70.695 | 110.047 |
| 5. Jambi | 40.500 | 156.600 | 197.000 |
| 6. Sumatera Selatan | 195.742 | 39.650 | 235.393 |
| 7. Bangka Belitung | 0 | 25.807 | 25.807 |
| 8. Bengkulu | 0 | 22.840 | 22.840 |
| 9. Lampung | 22.500 | 17.500 | 40.000 |
| <i>Sumatera</i> | <i>354.854</i> | <i>606.193</i> | <i>960.847</i> |
| 10. DKI Jakarta | | - | - |
| 11. Banten | | 1.488 | 1.488 |
| 12. Jawa Barat | | 7.447 | 7.447 |
| 13. Jawa Tengah | | 1.302 | 1.302 |
| 14. DI Yogyakarta | | - | - |
| 15. Jawa Timur | | 4.156 | 4.156 |
| <i>Jawa</i> | <i>0</i> | <i>14.393</i> | <i>14.393</i> |
| 16. Bali | 0 | 14.093 | 14.093 |
| 17. Nusa Tenggara Barat | 0 | 6.247 | 6.247 |
| 18. Nusa Tenggara Timur | 0 | 28.583 | 28.583 |
| <i>Bali dan Nusa Tenggara</i> | <i>0</i> | <i>48.922</i> | <i>48.922</i> |
| 19. Kalimantan Barat | 174.279 | 8.819 | 183.098 |
| 20. Kalimantan Tengah | 177.194 | 469.203 | 646.397 |
| 21. Kalimantan Selatan | 211.410 | 123.271 | 334.681 |
| 22. Kalimantan Timur | 167.276 | 64.487 | 231.763 |
| <i>Kalimantan</i> | <i>730.160</i> | <i>665.779</i> | <i>1.395.939</i> |
| 23. Sulawesi Utara | 0 | 26.367 | 26.367 |
| 24. Gorontalo | 0 | 20.257 | 20.257 |
| 25. Sulawesi Tenggara | 0 | 191.825 | 191.825 |
| 26. Sulawesi Selatan | 0 | 63.403 | 63.403 |
| 27. Sulawesi Tenggara | 0 | 121.122 | 121.122 |
| <i>Sulawesi</i> | <i>0</i> | <i>422.972</i> | <i>422.972</i> |
| 28. Papua dan Papua Barat | 1.893.366 | 3.293.634 | 5.187.000 |
| 29. Maluku | 0 | 121.680 | 121.680 |
| 30. Maluku Utara | 0 | 124.020 | 124.020 |
| <i>Maluku dan Papua</i> | <i>1.893.366</i> | <i>3.539.334</i> | <i>5.432.700</i> |
| Indonesia | 2.978.380 | 5.297.593 | 8.275.773 |

Sumber: Badan Litbang Pertanian (2007)

Penyebaran lahan potensial tersedia untuk perluasan sawah di Papua disajikan pada Gambar 2.



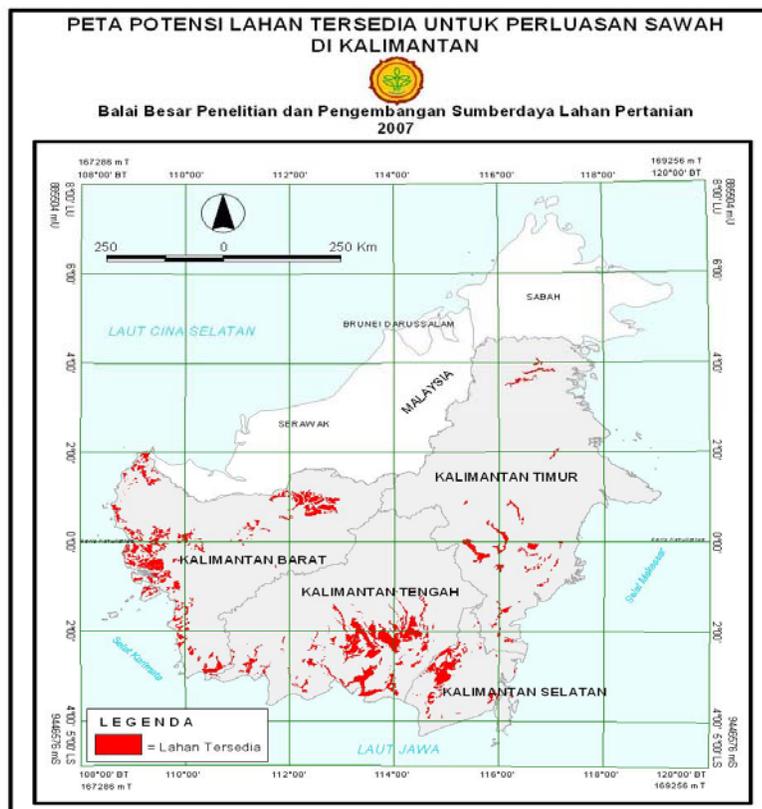
Gambar 2. Peta potensi lahan tersedia untuk perluasan sawah di Papua

b. Kalimantan

Lahan potensial dan tersedia untuk perluasan areal sawah di Kalimantan mencakup 1,39 juta ha, terdiri atas lahan rawa 0,73 juta ha dan non-rawa 0,66 juta ha. Lahan potensial tersebut terluas terdapat di Kalimantan Tengah 0,65 juta ha, kemudian Kalimantan Selatan 0,33 juta ha, Kalimantan Timur 0,23 juta ha dan Kalimantan Barat 0,18 juta ha. Penyebarannya disajikan pada Gambar 3.

Di Provinsi Kalimantan Tengah penyebaran lahan potensial untuk perluasan sawah seluas 646.397 ha, terdiri atas lahan rawa 177.194 ha dan lahan non-rawa 469.203 ha. Penyebarannya terdapat pada fisiografi jalur aliran sungai, rawa belakang, kubah gambut dan dataran pasang surut dari bahan induk

aluvium dan bahan organik. Jenis tanah dominan adalah Endoaquepts (Glei Humus, Glei Humus Rendah, Aluvial kelabu), Haplohemists (Organosol) dan Hydraquepts (Aluvial Hidromorf), tanah lainnya adalah Dystrudepts (Aluvial coklat-coklat kekelabuan), Sulfaquepts (Aluvial kelabu) dan Haplofibrists (Organosol).



Gambar 3. Peta potensi lahan tersedia untuk perluasan sawah di Kalimantan

Lahan-lahan potensial untuk perluasan sawah di Provinsi Kalimantan Selatan seluas 334.681 ha terdiri atas lahan rawa 211.410 ha dan non-rawa 123.271 ha. Penyebarannya terdapat pada lahan rawa dan non-rawa, pada fisiografi dataran gambut, dataran aluvial dan jalur aliran sungai. Tanah terbentuk dari bahan induk aluvium dan bahan organik. Jenis tanah dominan adalah Haplohemists (Organosol), Sulfaquepts (Aluvial kelabu) dan Endoaquepts (Glei

Humus, Glei Humus Rendah, Aluvial kelabu), tanah lainnya adalah Sulfaquents (Aluvial kelabu), Sulfihemists (Organosol) dan Dystrudepts (Aluvial coklat-coklat kekelabuan).

Lahan potensial untuk perluasan sawah di Provinsi Kalimantan Timur seluas 231.763 ha, terdiri atas lahan rawa 167.276 ha dan non-rawa 64.487 ha. Penyebarannya terdapat pada fisiografi basin aluvial, jalur aliran sungai, dataran aluvial dan dataran antar perbukitan dari bahan induk aluvium dan bahan organik. Jenis tanah dominan adalah Endoaquepts (Glei Humus, Glei Humus Rendah, Aluvial kelabu) dan Sulfaquepts (Aluvial kelabu). Tanah lainnya adalah Dystrudepts (Aluvial coklat-coklat kekelabuan), Sulfaquents (Aluvial kelabu), dan Haplohemists (Organosol).

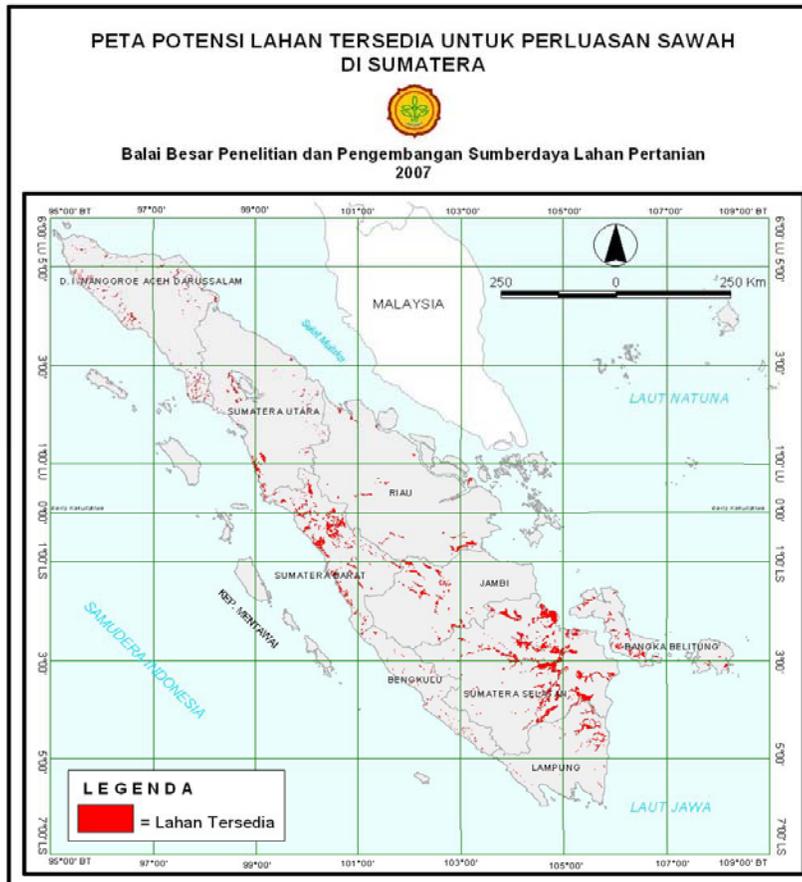
Lahan potensial untuk perluasan sawah di Provinsi Kalimantan Barat seluas 183.098 ha, terdiri atas lahan rawa 174.279 ha dan non-rawa 8.819 ha. Penyebarannya terutama pada lahan rawa pada fisiografi kubah gambut dan dataran gambut dari bahan induk bahan organik, hanya sebagian kecil pada dataran tektonik dari bahan induk bahan batuan sedimen. Jenis tanah dominan adalah Haplohemists (Organosol) dengan kedalaman tergolong dangkal sampai sedang, tanah lainnya adalah Haplofibrists (Organosol), Sulfihemists (Organosol), Hapludults (Podsolik Merah Kuning), dan Dystrudepts (Aluvial coklat-coklat kekelabuan).

c. Sumatera

Lahan potensial dan tersedia untuk perluasan areal sawah di Sumatera mencakup 0,96 juta ha, terdiri atas lahan rawa 0,35 juta ha dan non-rawa 0,61 juta ha. Lahan potensial tersebut terluas terdapat di Sumatera Selatan 0,24 juta ha, Jambi 0,197 juta ha, Riau 0,186 juta ha, Sumatera Barat 0,11 juta ha, Sumatera Utara 0,075 juta ha, Nanggroe Aceh Darussalam 0,068 juta ha, Lampung 0,04 juta ha, Bangka Belitung 0,025 juta, dan Bengkulu 0,022 juta ha. Penyebarannya disajikan pada Gambar 4.

Lahan yang berpotensi untuk perluasan sawah di Provinsi Sumatera Selatan seluas 253.393 ha, terdiri atas lahan rawa 195.742 ha dan non-rawa 39.650 ha. Penyebarannya sebagian besar terdapat pada daerah rawa tergolong

pada fisiografi rawa belakang, dataran pasang surut, delta/estuarin dan kubah gambut, serta sebagian kecil pada fisiografi aluvial/jalur aliran. Bahan induk tanah adalah aluvium dan bahan organik. Jenis tanah yang dominan adalah Endoquepts (Glei Humus, Glei Humus Rendah, Aluvial kelabu), Hydraquents (Aluvial Hidromorf), Sulfaquents (Aluvial kelabu), Haplohemists (Organosol), dan Haplosaprists (Organosol).



Gambar 4. Peta potensi lahan tersedia untuk perluasan sawah di Sumatera

Potensi perluasan sawah di Provinsi Jambi seluas 197.000 ha, terdiri atas lahan rawa 40.500 ha dan non-rawa 156.600 ha. Penyebarannya terdapat

pada fisiografi aluvial/jalur aliran, rawa belakang dan kubah gambut dari bahan induk aluvium dan bahan organik. Jenis tanah yang dominan adalah Endoaquepts (Glei Humus, Glei Humus Rendah, Aluvial kelabu), sedangkan tanah lainnya adalah Halpohemists (Organosol), Dystrudepts (Aluvial coklat-coklat kekelabuan), dan Endoaquents (Aluvial kelabu).

Potensi perluasan sawah di Provinsi Riau seluas 186.000 ha, terdiri atas lahan rawa 46.400 ha dan non-rawa 139.700 ha. Penyebarannya terdapat pada fisiografi aluvial/jalur aliran, rawa belakang dan kubah gambut dari bahan induk aluvium dan bahan organik. Jenis tanah yang dominan adalah Endoaquepts (Glei Humus, Glei Humus Rendah, Aluvial kelabu), sedangkan tanah lainnya adalah Haplohemists (Organosol), Dystrudepts (Aluvial coklat-coklat kekelabuan), dan Endoaquents (Aluvial kelabu).

Lahan yang berpotensi untuk perluasan sawah di Provinsi Sumatera Barat seluas 110.047 ha, terdiri atas lahan rawa 39.352 ha dan non-rawa 70.695 ha. Penyebarannya sebagian besar terdapat pada fisiografi dataran aluvial, dan sebagian lagi pada jalur aliran sungai, dataran antar perbukitan, dataran volkan dan rawa belakang. Bahan induk tanah adalah aluvium dan bahan organik. Jenis tanah yang dominan adalah Endoaquepts (Glei Humus, Glei Humus Rendah, Aluvial kelabu), Dystrudepts (Aluvial coklat-coklat kekelabuan), dan Endoaquents (Aluvial kelabu), sebagian kecil Haplohemists (Organosol) dan Haplosaprists (Organosol).

Potensi perluasan sawah di Provinsi Sumatera Utara seluas 75.500 ha, terdiri atas lahan rawa 6.700 ha dan non-rawa 68.800 ha. Penyebarannya terdapat pada fisiografi aluvial, dataran volkan, dataran antar perbukitan dan dataran aluvio-koluvial dari bahan induk aluvium dan volkan. Jenis tanah yang dominan adalah Endoaquepts (Glei Humus, Glei Humus Rendah, Aluvial kelabu), sedangkan tanah lainnya adalah Dystrudepts (Aluvial coklat-coklat kekelabuan), Hydrudands (Andosol), Hapludands (Andosol) dan Endoaquents (Aluvial kelabu).

Di Provinsi Nanggroe Aceh Darussalam (NAD) lahan potensial untuk perluasan sawah seluas 68.261 ha, terdiri atas lahan rawa 3.660 ha dan non-rawa 64.601 ha. Penyebarannya terdapat pada fisiografi aluvial dan aluvio-marin dari bahan induk aluvium, dengan jenis tanah dominan adalah Endoaquepts (Glei

Humus, Glei Humus Rendah, Aluvial kelabu), Dystrudepts (Aluvial coklat-coklat kekelabuan), dan Sulfaquents (Aluvial kelabu).

Penyebaran lahan yang potensial untuk perluasan sawah di Provinsi Lampung hanya sekitar 40.000 ha, terdapat pada lahan rawa (dataran pasang surut) seluas 22.500 ha dan non-rawa (jalur aliran sungai) seluas 17.500 ha. Bahan induk tanah adalah aluvium, dengan jenis tanah dominan Hydraquents (Aluvial Hidromorf) dan Endoaquepts (Glei Humus, Glei Humus Rendah, Aluvial kelabu), sedangkan lainnya Dystrudepts (Aluvial coklat-coklat kekelabuan) dan Sulfaquents (Aluvial kelabu).

Di Provinsi Bangka Belitung lahan yang potensial untuk perluasan sawah hanya sekitar 25.807 ha, tergolong lahan non-rawa. Penyebaran terdapat pada fisiografi jalur aliran sungai dari bahan-bahan aluvium. Jenis tanah dominan adalah Endoaquepts (Glei Humus, Glei Humus Rendah, Aluvial kelabu) dan Dystrudepts Dystrudepts (Aluvial coklat-coklat kekelabuan).

Potensi lahan untuk perluasan sawah di Provinsi Bengkulu tidak begitu luas yakni hanya 22.840 ha, semuanya tergolong lahan non-rawa. Penyebaran terdapat pada fisiografi jalur aliran sungai, dataran aluvio-koluvial dan dataran antar perbukitan dari bahan induk aluvium dan sedimen. Jenis tanahnya tergolong Endoaquepts (Glei Humus, Glei Humus Rendah, Aluvial kelabu), Dystrudepts (Aluvial coklat-coklat kekelabuan), dan Haplohumults (Organosol).

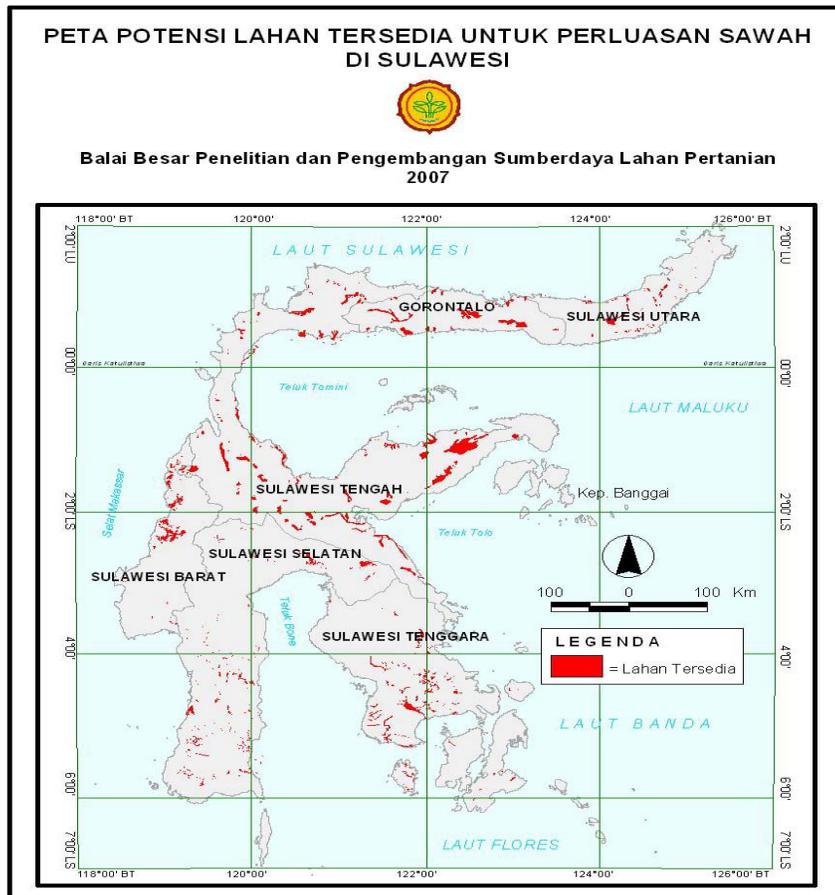
d. Sulawesi

Lahan potensial dan tersedia untuk perluasan areal sawah di Sulawesi sekitar 0,42 juta ha, semuanya tergolong lahan non-rawa. Lahan potensial tersebut terluas di Sulawesi Tengah 0,19 juta ha, kemudian Sulawesi Tenggara 0,12 juta ha, Sulawesi Selatan (termasuk Sulawesi Barat) 0,06 juta ha, Sulawesi Utara 0,026 juta ha dan Gorontalo 0,02 juta ha. Penyebarannya disajikan pada Gambar 5.

Lahan potensial untuk perluasan sawah di Provinsi Sulawesi Tengah seluas 191.825 ha, penyebaran terdapat pada fisiografi jalur aliran sungai dan dataran antar perbukitan dari bahan induk aluvium. Jenis tanah dominan adalah

Endoaquepts (Glei Humus, Glei Humus Rendah, Aluvial kelabu) dan Dystrudepts (Aluvial coklat-coklat kekelabuan), dan tanah lainnya adalah Udifluvents (Aluvial coklat-coklat kekelabuan).

Penyebaran lahan potensial di Provinsi Sulawesi Tenggara seluas 121.122 ha, terdapat pada fisiografi dataran aluvial, jalur aliran sungai dan dataran antar perbukitan dari bahan induk aluvium. Jenis tanah dominan adalah Endoaquepts (Glei Humus, Glei Humus Rendah, Aluvial kelabu), dan tanah lainnya adalah Dystrudepts (Aluvial coklat-coklat kekelabuan).



Gambar 5. Peta potensi lahan tersedia untuk perluasan sawah di Sulawesi

Di Provinsi Sulawesi Selatan (termasuk Sulawesi Barat) lahan potensial untuk perluasan sawah seluas 63.403 ha, terdapat pada fisiografi dataran aluvial dan jalur aliran sungai dari bahan induk aluvium. Jenis tanah dominan adalah Endoaquepts (Glei Humus, Glei Humus Rendah, Aluvial kelabu), tanah lainnya Haplusterts (Grumusol) dan Dystrudepts (Aluvial coklat-coklat kekelabuan).

Di Provinsi Sulawesi Utara dan Gorontalo lahan potensial untuk perluasan sawah tidak begitu luas, yakni masing-masing 26.367 ha dan 20.257 ha. Penyebarannya terdapat pada fisiografi jalur aliran sungai dari bahan induk aluvium. Jenis tanah dominan adalah Endoaquepts (Glei Humus, Glei Humus Rendah, Aluvial kelabu), tanah lainnya Udifluvents (Aluvial coklat-coklat kekelabuan).

e. Nusa Tenggara dan Bali

Potensi lahan untuk perluasan areal persawahan di Nusa Tenggara dan Bali mencakup areal seluas 48.922 ha, terluas terdapat di Nusa Tenggara Timur (28.583 ha), kemudian disusul Bali (14.093 ha) dan Nusa Tenggara Barat (6.247 ha). Penyebarannya pada fisiografi dataran aluvial, dataran tektonik dan vulkan dari bahan induk aluvium, batuan sedimen dan vulkan. Jenis tanahnya adalah Haplusterts (Grumusol), Haplustepts (Aluvial coklat), Endoaquepts (Glei Humus, Glei Humus Rendah, Aluvial kelabu), dan Eutrudepts (Aluvial coklat).

f. Jawa

Potensi lahan untuk perluasan sawah di Pulau Jawa sangat sedikit hanya mencakup 14.393 ha, dan lokasinya sangat berpecah dalam luasan sempit. Penyebaran terluas terdapat di Provinsi Jawa Barat (7.447 ha), kemudian disusul Jawa Timur (4.156 ha), Banten (1.488 ha) dan Jawa Tengah (1.302 ha). Penyebarannya terdapat pada fisiografi dataran antar perbukitan, vulkan dan dataran tektonik dari bahan induk aluvium, vulkan dan batuan sedimen. Jenis tanahnya bervariasi diantaranya Dystrudepts (Aluvial coklat-coklat kekelabuan), Eutrudepts (Aluvial coklat-coklat kekelabuan), Haplusterts (Grumusol), Haplustalfs (Mediteran), Hapludands (Andosol), dan Endoaquepts (Glei Humus, Glei Humus Rendah, Aluvial kelabu).

PENUTUP

Potensi lahan untuk pengembangan atau perluasan lahan untuk tanaman padi sawah di masa depan untuk memenuhi kebutuhan pangan nasional masih cukup luas yang terdiri atas lahan basah dan lahan kering di berbagai provinsi. Namun demikian, areal tanaman-tanaman spesifik seperti sagu yang banyak dijumpai di lahan basah Kawasan Timur Indonesia harus tetap dilestarikan. Lahan yang sesuai untuk perluasan sawah tentunya harus dilengkapi dengan prasarana yang dibutuhkan seperti petakan, saluran irigasi, dan lembaga pendukung seperti lembaga perkreditan dan penyedia sarana produksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus, F. dan Irawan. 2007. Agricultural land conversion as a threat to food security and environmental quality. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian* 25(3):90-98.
- Badan Litbang Pertanian. 2007. *Prospek dan Arah Pengembangan Komoditas Pertanian: Tinjauan Aspek Sumber daya Lahan*. Badan Litbang Pertanian. Jakarta.
- BPS (Badan Pusat Statistik). 2002. *Statistik Indonesia*. Badan Pusat Statistik. Jakarta.
- BPS (Badan Pusat Statistik). 2003. *Statistik Indonesia*. Badan Pusat Statistik. Jakarta.
- BPS (Badan Pusat Statistik). 2005. *Statistik Indonesia*. Badan Pusat Statistik. Jakarta.
- Direktorat Perluasan Areal. 2006a. *Data potensi perluasan sawah pada lahan irigasi*. Direktorat Perluasan Areal, Direktorat Jenderal Pengelolaan Lahan dan Air, Departemen Pertanian (Tidak dipublikasikan).
- Direktorat Perluasan Areal. 2006b. *Pedoman Teknis Perluasan Areal Tanaman Pangan (Perluasan Sawah)*. Direktorat Perluasan Areal, Direktorat Jenderal Pengelolaan Lahan dan Air, Departemen Pertanian. PT-PLA-2006, Revisi.
- Direktorat Perluasan Areal. 2007. *Data Realisasi Pencetakan Sawah tahun 2006 dan Rencana Pencetakan sawah Tahun 2007*. Direktorat Perluasan Areal, Direktorat Jenderal Pengelolaan Lahan dan Air, Departemen Pertanian.

- Djaenudin, D., Marwan H., Subagyo H., dan A. Hidayat. 2003. Petunjuk Teknis untuk Komoditas Pertanian. Edisi Pertama tahun 2003, ISBN 979-9474-25-6. Balai Penelitian Tanah, Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Badan Litbang Pertanian.
- Irawan, B.S. Friyatno, A. Supriyatna, I.S. Anugrah, N.A. Kitom, B. Rachman, dan B. Wiyono. 2001. Perumusan Model Kelembagaan konversi Lahan Pertanian. Pusat Penelitian Sosial Ekonomi Pertanian. Bogor
- Irawan. 2005. Analisis ketersediaan beras nasional: suatu kajian simulasi pendekatan sistem dinamis. hlm. 107-130 *dalam* Prosiding Seminar Nasional Multifungsi Pertanian dan Ketahanan Pangan. Bogor, 12 Oktober dan 24 Desember 2004. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Bogor.
- Kawaguchi, K. and K. Kyuma. 1977. Paddy Soils In Tropical Asia. Their Material Nature and Fertility. Monograph of The Center For Southeast Studies Kyoto University. The University Press of Hawaii. Honolulu, USA.
- Las, I., S. Purba, B. Sugiharto, dan A. Hamdani. 2000. Proyeksi kebutuhan dan pasokan pangan tahun 2000-2020. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. Bogor.
- Oldeman, L.R., I. Las, and Muladi. 1980. The agroclimatic maps of Kalimantan, Maluku, Irian Jaya and Bali, West and East Nusa Tenggara. Contributions No. 60, Central Research Institute for Agriculture, Bogor. 32 p.
- Puslitbangtanak (Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat). 2001. Atlas Arahana Tata Ruang Pertanian Nasional skala 1:1.000.000. Puslitbangtanak, Bogor.
- Puslitbangtanak (Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat). 2002. Atlas Pewilayahan Komoditas Pertanian Unggulan Nasional, skala 1:1.000.000. Puslitbangtanak, Bogor.
- Puslitbangtanak (Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat). 2003. Arahana Lahan Sawah Utama dan Sekunder Nasional di P. Jawa, P. Bali dan P. Lombok. Laporan Akhir Kerjasama antara Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Badan Litbang Pertanian dengan Proyek Koordinasi Perencanaan Peningkatan Ketahanan Pangan, Biro Perencanaan dan Keuangan, Sekretariat Jenderal Departemen Pertanian.

- Ritung, S., Irsal Las, A. Hidayat, dan Setyorini. 2006. Laporan Akhir Penanganan Tanggap Darurat dan Kajian Sumberdaya Lahan Mendukung Revitalisasi Pertanian, Perikanan dan Kehutanan. No. 03/BB Litbang SDLP/2006. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Litbang Pertanian (Tidak dipublikasikan).
- Soepraptohardjo, M. 1961. Klasifikasi Tanah Kategori Tinggi. KNIT I, Bogor.
- Suharta, N. dan M. Soekardi. 1994a. Potensi sumberdaya lahan untuk pencetakan sawah irigasi di lokasi PIADP Sumatera. hlm. 1-14 *dalam* Risalah Hasil Penelitian Potensi Sumberdaya Lahan untuk Pengembangan Sawah Irigasi di Sumatera. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. ISBN 979-8070-63-1. Kerjasama Penelitian dengan Direktorat Bina Rehabilitasi dan Pengembangan Lahan, Deptan.
-, 1994b. Potensi sumberdaya lahan untuk pencetakan sawah irigasi di lokasi PIADP Kalimantan dan Sulawesi. hlm. 1-12 *dalam* Risalah Hasil Penelitian Potensi Sumberdaya Lahan untuk Pengembangan Sawah Irigasi di Kalimantan dan Sulawesi. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. ISBN 979-8070-62-3. Kerjasama Penelitian dengan Direktorat Bina Rehabilitasi dan Pengembangan Lahan, Deptan.
- Soil Survey Staff. 2003. Keys to Soil Taxonomy. Ninth Edition. United States Departement of Agriculture. Natural Resources Conservation Services.
- Sumaryanto. 2001. Konversi lahan sawah ke penggunaan nonpertanian dan dampak negatifnya. hlm. 1-18 *dalam* Prosiding Seminar Nasional Multifungsi Lahan Sawah. Bogor, 1 Mei 2001. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Sutomo, S. 2004. Analisa data konversi dan prediksi kebutuhan lahan. hlm. 135-149 *dalam* Hasil Round Table II Pengendalian Konversi dan Pengembangan Lahan Pertanian. Direktorat Perluasan Areal, Ditjen Bina Produksi Tanaman Pangan, Departemen Pertanian, Jakarta.
- Swastika, D.K.S., P.U. Hadi, dan N. Ilham. 2000. Proyeksi Penawaran dan Permintaan Komoditas Tanaman Pangan: 2000-2010. Pusat Penelitian Sosial Ekonom Pertanian. 24 hlm.

3. GENESIS TANAH SAWAH BUKAAN BARU

B. H. Prasetyo

Tanah sawah bukaan baru di Indonesia umumnya dicetak di daerah lahan basah yang selalu tergenang air seperti lahan pasang surut, lahan rawa lebak, lahan aluvial dan dari lahan kering yang dikonversikan menjadi lahan sawah dengan cara diairi. Kedua jenis lahan pembentuk tanah sawah tersebut akan memberi ciri dan dampak tersendiri pada tanah sawah yang dibentuknya.

SIFAT MORFOLOGI TANAH SAWAH BUKAAN BARU

Sesuai dengan sifat tanah asalnya, lahan kering atau lahan basah, terdapat perbedaan yang mendasar atas kedua jenis tanah sawah bukaan baru. Perbedaan tersebut terutama nampak pada sifat morfologi, fisika, kimia, dan komposisi mineralnya. Perubahan yang paling signifikan setelah pencetakan sawah baru adalah tersedianya air untuk tanaman dan terciptanya lingkungan untuk pertumbuhan tanaman padi.

Tanah sawah bukaan baru yang berasal dari lahan kering di Indonesia umumnya masih mempunyai sifat morfologi yang mirip dengan lahan keringnya. Hal ini disebabkan tanah sawah bukaan baru yang berasal dari lahan kering tidak langsung berubah menjadi sawah yang selalu tergenang air. Lahan kering yang umumnya mempunyai drainase yang relatif baik akan mengalami perubahan sifat tanah yang tidak terlalu drastis ketika mulai disawahkan. Penggenangan lahan kering akan berdampak nyata pada sifat morfologi, fisik dan kimia tanahnya, namun dalam waktu singkat perubahan tersebut sifatnya belum permanen, dan belum akan mempengaruhi sifat dan komposisi mineralnya.

Seara umum tanah sawah bukaan baru di Indonesia hanya digenangi pada waktu tersedia air dan tanam padi. Beberapa hasil penelitian pada tanah sawah bukaan baru di Kotabumi, Lampung dan Lubuk Linggau, Sumatera Selatan menunjukkan bahwa pada tanah sawah bukaan baru yang berumur satu hingga tujuh tahun belum terbentuk warna glei ataupun tapak bajak (Prasetyo *et al.*, 1996; Prasetyo *et al.*, 1997; Prasetyo *et al.*, 2006). Hal ini disebabkan oleh kondisi sehabis padi dipanen pada umumnya sawah bukaan baru tersebut berubah lagi

menjadi lahan kering yang ditanami palawija, sehingga sifatnya akan kembali seperti tanah di lahan kering.

Penggenangan air dan pengolahan tanah untuk tanam padi pada tanah sawah bukaan baru dengan cara pelumpuran akan mengakibatkan hancurnya agregat tanah, yang berakibat pada penurunan total porositas tanah dan kemampuan tanah dalam meloloskan air karena terjadinya perubahan struktur tanah.

Penggenangan juga berdampak pada beberapa sifat kimia tanahnya. Dengan penggenangan akan terjadi penurunan nilai Eh, peningkatan dan penurunan pH, serta lebih tersedianya beberapa unsur dalam tanah, seperti P dan Ca. Penurunan Eh mungkin disebabkan oleh penurunan aktivitas pada fase oksidasi dan peningkatan aktivitas pada fase reduksi, dan penurunan Eh ini akan mempengaruhi konsentrasi oksigen dalam tanah, pH dan ketersediaan P (Ponnamperuma, 1978).

Penggenangan umumnya menyebabkan kenaikan pH pada tanah masam dan penurunan pH pada tanah alkali, keduanya mengarah pada nilai pH netral (Tadano dan Yoshida, 1978; Ponnamperuma, 1978). Proses oksidasi-reduksi pada tanah yang digenangi melibatkan konsumsi maupun produksi ion H⁺ dan OH⁻. Terjadinya kenaikan pH pada tanah masam setelah penggenangan tergantung pada pelepasan ion OH⁻ dan konsumsi ion H⁺. Sedangkan terjadinya penurunan pH pada tanah alkali disebabkan oleh dekomposisi bahan organik yang menghasilkan CO₂ kemudian bereaksi dengan H₂O dan menghasilkan asam karbonil yang dapat terurai menjadi ion H⁺ dan HCO⁻.

Terjadinya peningkatan ketersediaan P pada tanah yang digenangi disebabkan oleh beberapa hal, diantaranya adalah reduksi ferri fosfat, pelepasan P dari ikatan Ca, Al, dan Fe, dan peningkatan pH pada tanah masam (Ponnamperuma, 1978). P dalam tanah umumnya dijumpai dalam bentuk Al-P, Fe-P pada tanah masam dan Ca-P pada tanah alkali. Kenaikan pH karena penggenangan mendorong kelarutan Al-P dan Fe-P, sedang penurunan pH mendorong kelarutan Ca-P. Peningkatan Ca pada tanah yang digenangi (kondisi reduksi) disebabkan oleh pertukaran Ca⁺⁺ oleh Fe⁺⁺, karena pada tanah yang tergenang Fe⁺⁺ akan mendominasi kompleks pertukaran.

Tanah sawah bukaak baru dari lahan kering umumnya dibuat di luar P. Jawa, pada tanah jenis Oksisols maupun Ultisols yang merupakan tanah masam dan miskin kandungan maupun sumber hara. Tanah-tanah tersebut, terutama yang berwarna kemerahan hingga merah, mempunyai kandungan oksida Fe dan Al yang sangat tinggi (Tan, 1982) dan dalam suasana reduksi oksida-oksida yang terlarut dapat meracuni tanaman. Tanaman dapat mengalami keracunan Fe bila kandungan Fe pada tanah melebihi 2.000 ppm (Puslittanak, 1993), atau bila kadar besi dalam tanaman melebihi 300 ppm (Yusuf *et al.*, 1990).

Efisiensi pemupukan pada tanah ini sangat rendah, karena terdapatnya unsur-unsur tanah yang mempunyai daya fiksasi tinggi, sehingga pupuk yang diberikan menjadi tidak tersedia bagi tanaman. Kendala yang sering dihadapi oleh tanah sawah bukaak baru dari lahan kering adalah kekahatan hara khususnya fosfat, kemasaman tanah, keracunan Fe dan Al serta kadar bahan organik yang rendah. Kendala tersebut muncul karena sifat awal dari tanah yang disawahkan (Oksisols dan Ultisols) yang sudah dikenal sebagai tanah miskin hara.

Tanah sawah bukaak baru yang berasal dari lahan basah berupa lahan pasang surut, lahan rawa lebak maupun lahan aluvial umumnya dicirikan oleh lapisan tanah glei yang berwarna keabu-abuan yang disebabkan oleh kondisi awalnya yang selalu tergenang air dalam kurun waktu yang sangat lama sehingga terjadi reduksi besi ferri menjadi besi ferro.

Lahan pasang surut dan rawa lebak yang semula selalu tergenang air akan mempunyai waktu menjadi lebih kering karena proses pembuatan saluran drainase. Drainase mengakibatkan terjadinya proses-proses oksidasi dan reduksi yang bergantian di lahan tersebut. Proses oksidasi dan reduksi akan mengakibatkan perubahan warna tanah yang tadinya keabu-abuan menjadi kecoklatan sebagai akibat teroksidasinya besi ferro menjadi besi ferri. Warna kecoklatan ini dapat terjadi di luar ataupun di dalam struktur tanah, dan dikenal sebagai *mottles* (karatan) yang merupakan salah satu sifat penciri dari tanah-tanah dengan rezim kelembapan akuik.

Pada lahan aluvial yang disawahkan, perubahan sifat morfologinya tidak seluruhnya nyata, karena lahan aluvial sendiri ada yang selalu tergenang air dan adapula yang tergenang hanya pada musim penghujan. Pada lahan aluvial yang

hanya tergenang air pada musim hujan, warna glei yang keabu-abuan masih dijumpai karena umumnya di daerah ini air tanahnya dangkal. Warna campuran yang kecoklatan pada lahan semacam ini biasanya sudah ada sebelum tanah disawahkan, karena proses oksidasi dan reduksi berjalan mengikuti iklim.

Terjadinya proses oksidasi akibat pengeringan dapat berdampak negatif pada lahan rawa yang mengandung bahan sulfidik (FeS_2), karena bahan ini bila teroksidasi akan menyebabkan terjadinya penurunan pH tanah hingga mencapai pH 2. Salah satu ciri sudah teroksidasinya bahan sulfidik selain ditunjukkan oleh turunnya pH juga ditunjukkan oleh karatan berwarna kuning yang berasal dari pembentukan mineral jarosit ($\text{K Fe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$). Teroksidasinya bahan sulfidik dapat memberikan dampak yang sangat besar pada sifat kimia tanah, diantaranya akumulasi besi ferro, pH dan air tanah menjadi sangat masam. pH tanah yang sangat rendah dapat pula menyebabkan pelapukan mineral 2:1 jenis smektit, yang menghasilkan penambahan konsentrasi Al dalam larutan. Bila tidak dilakukan pengaturan air yang tepat tanaman padi dapat keracunan Fe maupun Al.

Pada tanah sawah bukaan baru yang berasal dari lahan basah umumnya tidak terjadi pergerakan air secara vertikal dari permukaan ke arah dalam (solum) tanah, hal ini disebabkan oleh dangkalnya muka air tanah. Dengan tidak terjadinya gerakan air tersebut, maka pada umumnya pada tanah sawah baru yang berasal dari lahan basah tidak terjadi horizon penimbunan Fe maupun Mn.

| A | B | C | D |
|---|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| 10 YR 3/2 Coklat ke abu-abuan sangat gelap | 2.5 Y 5/2 Coklat ke abu-abuan | 10 YR 3/1 abu-abu sangat gelap | 5 Y 5/1 abu-abu |
| 2.5 Y 5/2 Coklat ke abu-abuan | 2.5 Y 5/2 Coklat ke abu-abuan | 10 YR 5/6 coklat kekuningan | 5 Y 6/1 abu-abu |
| 2.5 Y 5/2 Coklat ke abu-abuan | N 5/0 abu-abu | 10 YR 5/8 coklat kekuningan | N 7 abu-abu terang |
| 5 GY 6/1 abu-abu kehijauan | 5 Y 5/1 abu-abu | 7.5 YR 5/8 coklat kuat | N 7 abu-abu terang |
| | | 7.5 YR 5/8 coklat kuat | |

Gambar 1. Profil tanah sawah bukaan baru dari lahan basah (A, B) dan dari lahan kering (C, D)

Gambar 1 menyajikan contoh morfologi tanah sawah bukaan baru dari lahan basah dan dari lahan kering. Gambar 1A dan 1B adalah profil tanah sawah bukaan baru berasal dari lahan pasang surut di Musi Banyuasin, Gambar 1C dan 1D adalah sawah bukaan baru dari konversi lahan kering di daerah Lubuk Linggau. Gambar 1D berasal dari lahan aluvial di daerah cekungan antar perbukitan. Perbedaan yang nampak menonjol adalah pada warna abu-abu karena proses reduksi di tanah sawah bukaan baru dari lahan basah (A, B, D) dan warna coklat (C) karena proses oksidasi di tanah sawah bukaan baru dari lahan kering.

PEMBENTUKAN LAPISAN TAPAK BAJAK

Lapisan tapak bajak adalah lapisan tipis pada tanah sawah yang terbentuk oleh proses-proses pengolahan tanah, baik secara mekanik maupun secara manual. Proses-proses pengolahan sawah yang berpengaruh pada pembentukan tapak bajak diantaranya adalah pemadatan tanah yang disebabkan oleh tekanan alat berat, manusia atau binatang, dan penghancuran tanah karena proses pengolahan tanah sawah.

Komposisi mineral liat dan tekstur tanah sangat berperan dalam pembentukan lapisan tapak bajak. Tanah sawah yang didominasi oleh mineral liat jenis smektit tidak akan membentuk tapak bajak, karena mineral jenis ini mempunyai sifat mengembang dan mengkerut yang sangat kuat, sehingga tidak memungkinkan terbentuknya lapisan tapak bajak. Menurut Hardjowigeno *et al.* (2004) tanah sawah berlempung halus adalah tanah sawah yang paling optimal untuk pembentukan lapisan tapak bajak, dan tanah sawah dengan kandungan liat tinggi kurang nyata membentuk lapisan tapak bajak.

Tanah sawah bukaan baru yang sudah diteliti sifat morfologinya secara detail tidak banyak, penelitian pada beberapa tanah sawah bukaan baru di daerah Sangata, Kalimantan Timur, Lubuk Linggau dan Musi Banyuasin, Sumatera Selatan serta Kotabumi, Lampung tidak menunjukkan adanya lapisan tapak bajak pada tanah sawah tersebut (Prasetyo *et al.*, 1996; Prasetyo *et al.*, 1997; Prasetyo *et al.*, 2001a; Prasetyo *et al.*, 2001b; serta Prasetyo, 2006).

Pada tanah sawah yang mempunyai tekstur lempung berpasir, lapisan tapak bajak mulai terbentuk setelah tiga tahun penyawahana dengan pengolahan secara mekanis, sedangkan pada tanah sawah bertekstur halus lapisan tapak bajak baru terbentuk setelah 10 hingga 12 tahun penyawahana (Hardjowigeno *et al.*, 2004). Lapisan tapak bajak setebal 20 cm baru terbentuk pada tanah sawah aluvial dalam waktu 20 tahun dengan pengelolaan menggunakan traktor berat (Munir, 1987). Menurut Kanno *et al.* (1964) lapisan tapak bajak terlihat secara jelas dan berkembang dengan baik setelah 200 tahun.

MINERALOGI

Komposisi mineral dari tanah sawah bukaan baru dapat dibedakan atas mineral primer dan mineral sekunder. Yang dimaksud dengan mineral primer adalah mineral tanah yang mempunyai butir berukuran fraksi pasir (2-0,05 mm). Di tanah sawah mineral ini dijumpai sebagai hasil pelapukan fisik dari mineral utama penyusun batuan, sehingga masih mempunyai komposisi kimia dan struktur yang sama dengan mineral dari bahan induk tanahnya, perbedaan yang ada hanya mengenai sifat fisik berupa ukuran butirnya. Dengan mengetahui jenis dan komposisi mineral primer dalam tanah sawah bukaan baru, akan diketahui pula status sumber hara dari tanah sawah tersebut. Penentuan jumlah dan jenis mineral primer/pasir dapat dilakukan dengan mikroskop polarisasi. Bila jumlahnya cukup banyak dapat juga dengan alat X-ray difraktometer.

Mineral sekunder adalah mineral-mineral hasil pelapukan mineral primer yang terjadi selama proses pembentukan tanah serta sudah mempunyai komposisi dan struktur yang berbeda dengan mineral yang terlapuk. Jenis mineral ini mempunyai ukuran butir yang halus ($<2\mu$) sehingga disebut juga sebagai mineral liat. Karena ukurannya yang halus mineral ini tidak dapat diidentifikasi dengan mikroskop polarisasi, melainkan dengan alat X-ray difraktometer.

Komposisi mineral tanah sawah bukaan baru sangat dipengaruhi oleh asal tanah sawah tersebut. Pada tanah sawah bukaan baru yang berasal dari lahan basah, yang umumnya tersusun dari bahan endapan aluvial, komposisinya akan sangat tergantung pada bahan rombakan di daerah hulu sungainya. Selain itu panjang dan jumlah sungai yang memasok bahan endapan juga berperan

dalam menentukan susunan mineral pada bahan endapan. Sedangkan pada tanah sawah bukaan baru yang berasal dari lahan kering, komposisi mineralnya akan sangat tergantung pada jenis tanah di lahan kering tersebut. Hara yang terkandung dalam tanah sawah bukaan baru sebagian besar merupakan hasil pelapukan mineral primer, sehingga jenis dan tinggi rendahnya kandungan hara pada tanah sawah bukaan baru akan sangat ditentukan oleh jenis dan jumlah mineral primer yang ada pada tanah asal dari sawah bukaan baru tersebut.

Mineral primer

Tabel 1 menyajikan data komposisi mineral primer dari tanah sawah bukaan baru dari lahan kering berbatu induk tufa masam di daerah Lubuk Linggau (HP 34), HP (33) dan Kotabumi (HP12). Ketiga tanah sawah tersebut merupakan hasil pencetakan sawah baru yang berasal dari konversi lahan kering, dengan posisi di lapangan yang berbeda satu dengan yang lainnya.

Profil HP 34 adalah sawah bukaan baru di daerah Lubuk Linggau yang dibuat pada daerah cekungan antar perbukitan kecil, daerah ini merupakan daerah akumulasi, posisinya terletak di bawah profil HP 33 yang merupakan daerah pencucian. Baik sawah pada profil HP 34 maupun HP 33 didominasi oleh mineral resisten kuarsa, namun pada tanah sawah yang diwakili profil HP 34 terdapat kandungan gelas vulkan yang nampaknya relatif belum melapuk karena tanah selalu dalam keadaan lembap, sedang pada profil HP 33 sudah tidak dijumpai gelas vulkan karena gelas vulkan yang ada sudah melapuk. Profil HP 12 terletak di daerah lereng bawah, merupakan tanah sawah bukaan baru hasil konversi lahan kering di daerah Kotabumi.

Terdapatnya mineral opak bersamaan dengan kuarsa merupakan bukti bahwa tanah terbentuk dari bahan vulkan masam (tufa masam), karena mineral opak merupakan mineral tahan lapuk yang berasal dari bahan vulkan. Komposisi dari mineral primer pada tanah sawah bukaan baru tersebut menunjukkan bahwa tanah sudah tidak mempunyai sumber hara karena hanya tertinggal mineral-mineral tahan lapuk jenis kuarsa dan opak. Hara yang ada adalah kondisi hara pada saat ini.

Tabel 1. Komposisi mineral primer fraksi pasir total dari tanah sawah bukaan baru yang berasal dari lahan kering di daerah Lubuk Linggau (HP34 dan HP31) dan di daerah Kotabumi (HP12). Sumber: Prasetyo (2006) dan Prasetyo *et al.* (1996)

| Profil | Kedalaman | Op | Ku | Kb | Lm | Fb | Gv | An | Keterangan |
|--------|-----------|----|----|----|----|----|----|----|---|
| HP 34 | 0 – 30 | 4 | 48 | | 7 | 9 | 30 | | Posisi di daerah cekungan, tanah diklasifikasikan sebagai Typic Endoaquents |
| | 30 – 55 | 5 | 58 | | 6 | 9 | 21 | | |
| | 55 – 100 | 4 | 33 | | 8 | 6 | 50 | | |
| | 100 – 120 | tr | 20 | | 9 | 5 | 65 | | |
| HP 33 | 0 – 12 | 17 | 80 | 3 | 7 | | | 1 | Posisi di lereng tengah, tanah diklasifikasikan sebagai Typic Kandiudults |
| | 12 – 30 | 16 | 77 | 1 | 6 | | | | |
| | 30 – 55 | 14 | 81 | tr | 5 | | | | |
| | 55 – 98 | 14 | 69 | 3 | 13 | | | 1 | |
| | 98 – 140 | 14 | 74 | 2 | 8 | | | 1 | |
| | 140 – 160 | 14 | 75 | 3 | 6 | | | | |
| | | | | | | | | | |
| HP12 | 0 – 12 | 24 | 75 | | | | | | Posisi di lereng bawah, tanah diklasifikasikan sebagai Petroferic Hapludox |
| | 12 – 28 | 17 | 81 | | | | | 1 | |
| | 28 – 50 | 17 | 81 | | | | | 1 | |
| | 50 – 74 | 20 | 78 | | | | | | |
| | 74- 85 | 26 | 73 | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

Keterangan: Op = opak; Ku = kuarsa; Kb = konkresi besi; Lm = lapukan mineral; Fb = fragmen batuan; Gv = gelas vulkan; An = andesin

Pada Tabel 2 disajikan contoh dari komposisi mineral primer dari tanah sawah bukaan baru yang berasal dari lahan pasang surut di Sumatera Selatan (P1 dan P7) dan lahan aluvial di daerah Kalimantan Timur (HP 13).

Pada tanah sawah bukaan baru dari lahan basah, kandungan mineral primernya umumnya adalah mineral yang sudah mengalami proses-proses

pelapukan fisik karena proses transportasi, dan pelapukan kimia pada saat bahan endapan masih berada di daerah hulu sungai. Mineral jenis kuarsa yang merupakan mineral tahan lapuk adalah mineral primer yang umumnya mendominasi tanah sawah bukaak baru dari lahan basah. Tanah sawah bukaak baru dikatakan mempunyai cadangan sumber hara yang tinggi bila tanah sawah tersebut mengandung mineral-mineral primer yang tergolong mudah lapuk seperti piroksin (augit, hiperstin), olivin, amfibol, plagioklas (oligoklas, labradorit, andesin, bitownit), orthoklas dan sinidin dalam jumlah yang banyak. Namun seringkali hanya mineral yang tergolong pada mineral primer resisten (tahan lapuk) jenis kuarsa, zirkon ataupun opak yang mendominasi komposisi mineral primer dari tanah sawah bukaak baru di lahan basah.

Tabel 2. Komposisi mineral primer dari fraksi total dari tanah sawah bukan baru di daerah pasang surut (P1 dan P7) dan aluvial (HP13). Sumber Prasetyo *et al.* (2001a dan 2001b)

| Profil | Kedalaman | Op | Ku | Kb | Lm | Fb | Gv | Ol | An | Sa | Or | Hb | Hp |
|--------|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| P 1 | 0-15 | 1 | 80 | | 1 | 10 | 2 | 1 | 3 | 1 | | | 1 |
| | 15-36 | 2 | 65 | | 1 | 11 | 4 | 1 | 10 | 2 | 1 | | 3 |
| | 36-65 | 2 | 49 | | 5 | 16 | 5 | 1 | 16 | 1 | 3 | 1 | 1 |
| | 65-116 | 1 | 47 | | 8 | 22 | 8 | | 8 | | 3 | 1 | 2 |
| | 116-150 | 1 | 25 | | 18 | 24 | 16 | | 11 | 1 | 3 | | 1 |
| P7 | 0-16 | | 90 | | 3 | 3 | 1 | 1 | 2 | | | | 1 |
| | 16-40 | | 97 | | | 3 | | | | | | | |
| | 40-90 | 13 | 87 | | | | | | | | | | |
| | 90-130 | 5 | 95 | | | | | | | | | | |
| HP 13 | 0-15 | | 83 | Sp | 1 | 16 | | | | 2 | | | |
| | 15-40 | | 83 | Sp | 1 | 16 | | | | | | | |
| | 40-75 | | 66 | 3 | 15 | 15 | | | | | | | |
| | 75-100 | | 59 | 3 | 25 | 13 | | | | 1 | | | |
| | 100-120 | | 52 | 4 | 33 | 11 | | | | | | | |

Keterangan: Op = opak; Ku = kuarsa; Kb = konkresi besi; Lm = lapukan mineral; Fb = fragmen batuan; Gv = gelas vulkan; Ol = oligoklas; An = andesin; Sa = sanidin; Or = orthoklas; Hb = hornblende; Hp = hiperstin

Terlihat pada Tabel 2, mineral kuarsa mendominasi tanah sawah bukaan baru yang berasal dari lahan basah yang berbeda, yaitu lahan pasang surut dan lahan aluvial. Mineral kuarsa dikenal sebagai mineral yang tahan terhadap pelapukan fisik maupun kimiawi sehingga keberadaannya dalam suatu jenis tanah akan dapat memberi penjelasan mengenai sifat dan kondisi dari tanah yang bersangkutan. Kandungan mineral kuarsa yang dominan dapat diartikan bahwa sumber bahan induk tanah adalah bahan masam, atau tanah sudah mengalami tingkat pelapukan lanjut sehingga mineral-mineral mudah lapuk sudah habis, atau tanah miskin sumber hara, atau bahan induk tanah merupakan hasil sedimentasi.

Dari ketiga contoh komposisi mineral primer tersebut, terlihat bahwa hanya P1 yang mendapat pengkayaan dari bahan vulkan. Pada P1 tanah sawah diperkaya oleh bahan vulkan, yang ditunjukkan oleh terdapatnya mineral gelas vulkan, oligoklas, sanidin, orthoklas, hornblende, dan hiperstin. Tanah sawah yang diperkaya oleh bahan vulkan bersifat sangat menguntungkan, karena mineral-mineral primer dari bahan vulkan merupakan sumber utama hara dalam tanah (Prasetyo *et al.*, 2007). Sebagai contoh mineral olivin merupakan sumber hara Mg, Fe; biotit sumber hara K, Mg, Fe; piroksen sumber hara Mg, Fe, Ca; amfibol sumber hara Fe, Mg, Ca, Na; plagioklas sumber hara Na, Ca; orthoklas dan muskovit sumber hara K. Keseluruhan mineral tersebut merupakan jenis mineral mudah lapuk, dalam arti mudah melepaskan hara dan mempunyai potensi penyedia hara dalam tanah yang sangat tinggi.

Terdapatnya lapukan mineral dan fragmen batuan menunjukkan bahwa mineral-mineral primer pada tanah tersebut masih dalam taraf pelapukan. Lapukan mineral merupakan sekumpulan mineral hasil pelapukan yang berukuran sangat halus, sehingga tidak dapat terdeteksi jenisnya dengan mikroskop polarisasi. Fragmen batuan adalah fragmen berukuran pasir yang tersusun dari beberapa jenis mineral, dapat dari mineral mudah lapuk, mineral tahan lapuk maupun kombinasi antara mineral mudah lapuk dan mineral tahan lapuk. Dengan demikian lapukan mineral dan fragmen batuan ini juga merupakan sumber hara.

Mineral liat

Tabel 3 menunjukkan bahwa tanah sawah bukaan baru dari lahan kering di daerah Kotabumi, Lampung dan Lubuk Linggau, Sumatera Selatan mineral liatnya didominasi oleh mineral kaolinit (Prasetyo *et al.*, 1996; Prasetyo *et al.*, 1997; Prasetyo, 2006). Selain itu juga terdeteksi mineral oksida besi jenis goethit.

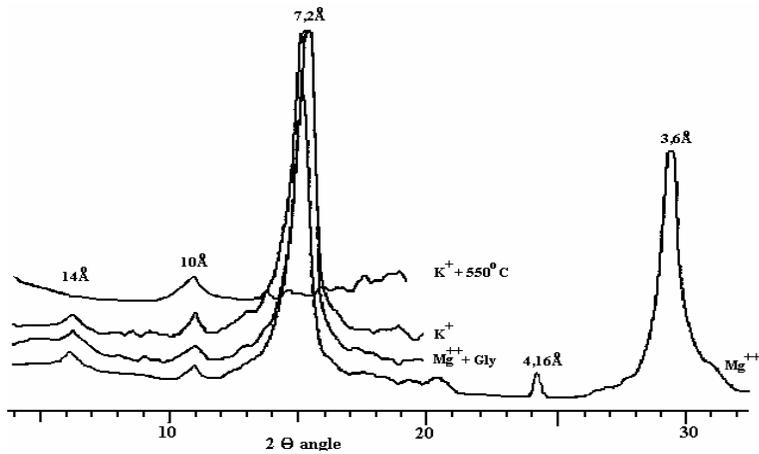
Tabel 3. Komposisi mineral liat tanah sawah bukaan baru dari lahan kering di daerah Lubuk Linggau, Sumatera Selatan dan Kotabumi, Lampung (Sumber: Prasetyo, 2006; Prasetyo *et al.*, 1996)

| Profil | Kdlmn | Kaolinit | Smektit | Illit | Vermikulit | Goethit | Kuarsa | Kristobalit |
|--------|----------|----------|---------|-------|------------|---------|--------|-------------|
| HP34 | 0 – 30 | ++++ | | + | - | (+) | + | + |
| | 55 -100 | ++ | | ++ | - | (+) | + | + |
| HP33 | 0 – 12 | ++++ | | (+) | (+) | (+) | + | + |
| | 30 – 55 | ++++ | | (+) | + | (+) | + | + |
| | 98 – 140 | ++++ | | (+) | + | (+) | + | + |
| HP 12 | 0 – 12 | ++++ | | | | (+) | + | |
| | 28 – 50 | ++++ | | | | (+) | + | |
| | 74 – 85 | ++++ | | | | (+) | + | |

Keterangan : ++++ = dominan; +++ = banyak; ++ = sedang; + = sedikit; (+) = sangat sedikit.

Komposisi mineral kaolinit dan goethit dalam fraksi liat serta kuarsa dan opak dalam fraksi pasir menunjukkan bahwa tanah sudah tidak memiliki sumber cadangan hara dan sudah mengalami pelapukan lanjut. Dominasi kaolinit substitusi isomorfnya sangat kecil, sehingga tidak dapat meningkatkan nilai kapasitas tukar kation tanah. Adanya mineral illit dan vermikulit yang jumlahnya relatif sedikit nampaknya juga tidak berpengaruh pada kapasitas tukar kation tanahnya.

Gambar 2 menunjukkan difraktogram x-ray dari fraksi liat pada tanah sawah bukaan baru di daerah Lubuk Linggau, Sumatera Selatan. Nampak pada gambar mineral kaolinit ditunjukkan oleh nilai difraksi 7,2 Å dan 3,6 Å, sedangkan nilai difraksi 14 Å, 10 Å, dan 4,16 Å berturut-turut menunjukkan nilai difraksi dari mineral vermikulit, illit, dan goethit.



Gambar 2. Difraktogram x-ray dari fraksi liat pada tanah sawah bukaan baru di daerah Lubuk Linggau, Sumatera Selatan (Sumber: Prasetyo, 2006)

Komposisi mineral tanah, baik mineral primer (fraksi pasir) maupun mineral sekunder (fraksi liat) menunjukkan bahwa lahan kering dengan kandungan sumber hara tanah sangat rendah yang dirubah menjadi lahan sawah bukaan baru menyebabkan penggunaan lahan ini selanjutnya akan selalu memerlukan masukan hara berupa pupuk, baik pupuk organik maupun anorganik. Masalah yang dihadapi pada lahan kering di luar Jawa, khususnya pada tanah-tanah Oksisol dan Ultisol adalah kekahatan hara khususnya fosfat, kemasaman tanah, keracunan Al dan Fe, serta kadar bahan organik yang rendah (Adiningsih *et al.* 1986). Kendala-kendala tersebut seyogianya dicermati dalam peralihan fungsi dari lahan kering menjadi lahan sawah bukaan baru.

Kandungan mineral liat pada tanah sawah bukaan baru dari lahan basah umumnya bervariasi. Variasi kandungan mineral liat ini disebabkan oleh beberapa hal, diantaranya mineral liat tersebut berasal dari campuran mineral liat di daerah hulu yang terbawa oleh air dan diendapkan pada lahan basah yang kemudian menjadi sawah, atau mineral liat tersebut berasal dari pelapukan ataupun alterasi mineral liat yang terendapkan pada lingkungan yang tidak sesuai dengan lingkungan stabilitasnya, ataupun mineral liat tersebut merupakan hasil pembentukan baru pada lingkungan pengendapan di lahan basah tersebut. Pada tanah sawah bukaan baru dari lahan kering komposisi mineral liatnya akan sama

persis dengan komposisi mineral liat dari lahan kering tersebut, karena pencetakan sawah bukaan baru dalam waktu yang singkat belum akan merubah komposisi mineral dari lahan kering tersebut.

Tanah sawah bukaan baru dari lahan basah seringkali mengandung mineral liat jenis smektit. Mineral liat ini akan sangat mempengaruhi sifat fisik maupun kimia dari tanah sawah bukaan baru tersebut. Tanah sawah yang didominasi oleh jenis mineral liat smektit akan mempunyai sifat fisik yang tergolong ekstrim. Pada waktu kering tanah akan menjadi sangat keras dan membentuk rekahan-rekahan yang lebarnya bisa mencapai 15 cm dan dalamnya mencapai 60 cm. Pada kondisi ini praktis tanah tidak dapat diolah maupun ditanami. Sebaliknya pada musim basah tanah menjadi sangat lekat, permeabilitasnya sangat rendah, sehingga cukup sulit untuk diolah dan bila posisinya didaerah cekungan dapat menyebabkan terjadinya genangan.

Mineral liat smektit selain akan mempunyai sifat fisik yang ekstrim juga akan mempunyai muatan negatif yang tinggi (KTK tinggi) karena adanya substitusi isomorfik Al^{3+} oleh Mg^{2+} . Muatan negatif yang tinggi sangat menunjang kesuburan tanah dan proses pemupukan tanah, karena akan mudah menyediakan hara-hara yang diperlukan oleh tanaman, baik secara alami maupun dengan pemupukan. Tanah yang didominasi mineral smektit mencirikan keadaan terjadinya akumulasi basa-basa yang bereaksi basa hingga netral dengan drainase tanah jelek.

Namun apabila tanah sawah bukaan baru dari lahan basah mengandung bahan sulfidik (mineral pirit), kondisinya dapat sangat berbeda. Bila bahan sulfidik teroksidasi, akan menyebabkan penurunan pH tanah menjadi sangat masam ($pH < 3$), kondisi ini dapat menyebabkan stabilitas mineral smektit terganggu. Pada lingkungan yang sangat masam, mineral smektit akan melapuk dan melepaskan Al dari struktur kristalnya, sehingga lingkungannya menjadi lingkungan yang jenuh Al. Lingkungan yang demikian merupakan lingkungan yang tidak menguntungkan untuk pertumbuhan padi ataupun komoditas pertanian lainnya.

Tanah yang didominasi oleh mineral liat jenis kaolinit akan mempunyai muatan negatif yang rendah (KTK rendah) karena substitusi isomorfik pada jenis mineral ini hampir tidak pernah terjadi. Dominasi mineral kaolinit juga

mengindikasikan suatu keadaan tingkat pelapukan dan pencucian basa-basa yang tinggi dengan lingkungan yang bereaksi masam dan drainase baik.

Tabel 4 menyajikan contoh komposisi mineral liat dari tanah sawah bukaan baru yang berasal dari lahan basah pasang surut di daerah Musi Banyuasin (P1 dan P7) dan lahan basah aluvial di daerah Sangata (HP13). Terlihat bahwa komposisi mineral liat tanah sawah bukaan baru dari lahan basah umumnya didominasi oleh mineral liat kaolinit, pada tanah sawah bukaan baru dari bahan alluvial tidak dijumpai mineral smektit, namun mineral liat smektit masih dijumpai pada sawah dari lahan pasang surut. Mineral illit dijumpai baik pada sawah pasang surut maupun alluvial. Pada tanah sebagian illit telah melapuk membentuk vermikulit, sedang di sawah pasang surut tidak terbentuk vermikulit.

Tabel 4. Contoh komposisi mineral fraksi liat tanah sawah bukaan baru dari lahan basah di daerah Musi Banyuasin (P1 dan P7) dan Sangata (HP13). Sumber: Prasetyo *et al.* (2001a); Prasetyo dan Hikmatullah (2001b)

| Profil | Kdlmn | Kaolinit | Smektit | Illit | Vermikulit | Goethit | Kuarsa | Kristobalit |
|--------|----------|----------|---------|-------|------------|---------|--------|-------------|
| P1 | 0 - 15 | +++ | + | + | | | ++ | + |
| | 15 - 36 | +++ | + | + | | | ++ | (+) |
| | 36 - 65 | ++ | ++ | + | | | ++ | (+) |
| | 65 - 116 | ++ | ++ | + | | | +++ | (+) |
| P2 | 0 - 16 | +++ | + | + | | | | |
| | 16 - 40 | +++ | + | + | | | (+) | |
| | 40 - 90 | +++ | + | + | | | (+) | |
| | 90 - 130 | +++ | ++ | + | | | (+) | |
| HP13 | 0 - 15 | +++ | | + | ++ | | | |
| | 98 - 140 | ++++ | | (+) | + | (+) | + | + |

Keterangan : +++++ = dominan; +++ = banyak; ++ = sedang; + = sedikit; (+) = sangat sedikit.

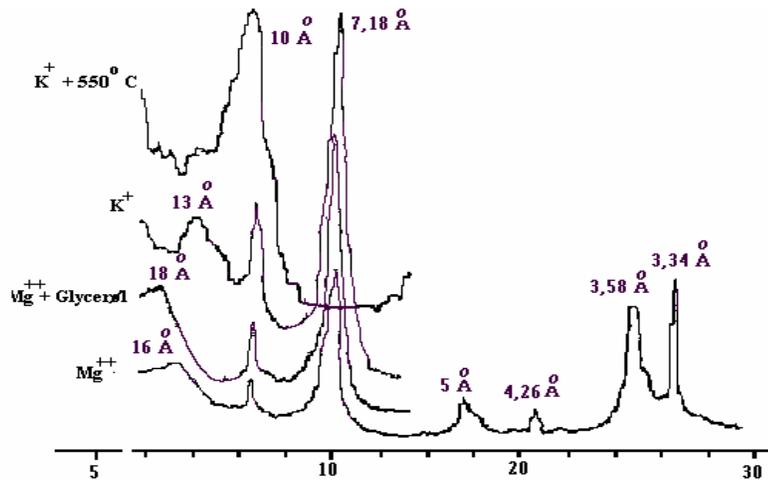
Pada tanah sawah di daerah pasang surut, mineral liat kaolinit merupakan hasil pembentukan di daerah hulu sungai, terangkut dan terendapkan

di daerah pasang surut. Mineral kaolinit umumnya terbentuk pada lingkungan yang pencucian basa-basanya intensif, reaksi tanah masam, dengan drainase tanah yang relatif baik (Tardy *et al.*, 1973; van Wambeke, 1992), dan lingkungan seperti ini umumnya hanya dimiliki oleh tanah-tanah berlereng di lahan kering. Dominasi mineral kaolinit pada fraksi liat dan mineral kuarsa di fraksi pasir adalah ciri dari tanah berpelapukan lanjut yang bersifat masam. Bila asosiasi mineral tersebut mendominasi susunan mineral tanah sawah bukaan baru, berarti tanah tersebut berkembang dari bahan hasil rombakan ataupun erosi di daerah hulu yang bersifat masam dan miskin akan sumber hara.

Lingkungan yang berdrainase jelek, dengan pH netral hingga alkalis, dan akumulasi basa-basa terutama Mg, dan silika merupakan lingkungan yang sesuai untuk pembentukan mineral smektit (Jackson, 1968; De Coninck, 1974; Borchardt, 1989, van Wambeke, 1992). Terdapatnya smektit pada tanah bukaan baru di lahan pasang surut diduga merupakan hasil pembentukan baru pada lingkungan pengendapan di laut ataupun muara sungai. Pada tanah sawah dari bahan aluvial (HP 13) tidak terbentuk mineral smektit, hal ini disebabkan bahan dan lingkungan pengendapannya tidak menunjang pembentukan mineral smektit.

Terdapatnya mineral illit pada semua tanah sawah baru dari lahan basah mengindikasikan bahwa pada bahan induk tanah terdapat mineral mika. Mineral illit dan vermikulit dapat mengakibatkan tanah sawah bukaan baru kahat K, karena K yang ada terikat dalam struktur mineralnya, sehingga tidak tersedia untuk tanaman. Kondisi ini sering tergambar pada hasil analisis kimia tanahnya, kandungan K potensial yang dianalisis dengan 25% HCl sangat tinggi, akan tetapi kandungan K tersedia yang dianalisis dengan metoda Bray sangat rendah.

Gambar 3 menunjukkan contoh gambar difraktogram sinar X dari tanah sawah bukaan baru di daerah Musi Banyuasin, Sumatera Selatan. Dalam difraktogram tersebut kaolinit ditunjukkan oleh puncak difraksi 7,18 Å dan 3,58 Å, smektit oleh puncak difraksi yang tidak terlalu jelas pada 16 Å pada perlakuan penjuhan Mg, namun puncak difraksi tersebut cukup jelas pada perlakuan Mg + glycerol yaitu 18 Å dan perlakuan K yaitu 13 Å.



Gambar 3. Difraktogram sinar X dari mineral liat pada contoh tanah sawah bukaan baru di daerah pasangsurut Musi Banyuasin, Sumatera Selatan (Sumber: Prasetyo *et al.*, 2001a)

Mineral illit ditunjukkan oleh nilai difraksi 10 \AA pada semua perlakuan, dan mineral kuarsa pada nilai difraksi $4,26 \text{ \AA}$ dan $3,34 \text{ \AA}$.

SIFAT TANAH SAWAH BUKAAN BARU

Tabel 5 dan Tabel 6 menyajikan beberapa sifat fisika dan kimia tanah tanah sawah bukaan baru.

Sifat fisika

Tanah sawah bukaan baru dari lahan kering mempunyai tekstur yang lebih bervariasi (Tabel 5), karena tekstur ini dihasilkan oleh proses pembentukan tanah (*pedogenic*) yang sifatnya *insitu*, sehingga distribusi besar butir dari tanah sangat tergantung pada bahan induk tanah dan tingkat pelapukan tanahnya.

Tabel 5. Tekstur, C-organik, pH, besi bebas, P dan K potensial dan P tersedia tanah sawah bukaan baru dari lahan kering di daerah Lubuk Linggau dan Kotabumi (Sumber: Prasetyo *et al.*, 1996 dan Prasetyo, 2006)

| Profil | Kedalaman Cm | Tekstur | | | C- Organik | pH | | Fe ₂ O ₃ Bebas | HCl 25 %P ₂ O ₅ | | P ₂ O ₅ Bray1 | Retensi P |
|--------|-----------------|---------|------|------|---------------|------------------|------|---|--|------------------|--|--------------|
| | | Pasir | Debu | Liat | | H ₂ O | KCl | | P ₂ O ₅ | K ₂ O | | |
| | | % | | | | | | mg 100 g ⁻¹ | | ppm | % | |
| HP 31 | 0 – 12 | 17 | 24 | 59 | 3,51 | 4,9 | 3,9 | 2,75 | 12 | 8 | 0,3 | 27,8 |
| | 12 – 30 | 13 | 21 | 66 | 1,68 | 4,9 | 3,9 | 3,12 | 7 | 6 | 7,4 | 29,3 |
| | 30 – 55 | 10 | 18 | 72 | 1,23 | 4,7 | 3,9 | 3,26 | 6 | 6 | 2,4 | 28,1 |
| | 55 – 98 | 10 | 16 | 74 | 1,04 | 4,8 | 3,9 | 3,44 | 8 | 5 | 1,7 | 26,1 |
| | 98 – 140 | 9 | 16 | 75 | 0,78 | 5,0 | 3,9 | 3,64 | 7 | 5 | 0,6 | 37,1 |
| | 140 - 160 | 11 | 19 | 70 | 0,66 | 5,0 | 4,0 | 4,16 | 5 | 6 | 0,5 | 75,0 |
| HP 34 | 0 – 30 | 22 | 17 | 61 | 5,41 | 5,0 | 3,9 | 0,55 | 13 | 5 | 9,5 | 32,7 |
| | 30 – 55 | 20 | 15 | 65 | 1,99 | 5,0 | 3,8 | 0,92 | 6 | 7 | 7,9 | 31,5 |
| | 55 – 100 | 19 | 14 | 67 | 1,05 | 5,0 | 3,6 | 0,69 | 6 | 7 | 6,8 | 27,9 |
| | 100 - 120 | 30 | 19 | 51 | 0,87 | 5,3 | 3,9 | 0,54 | 6 | 13 | 3,0 | 28,6 |
| HP12 | 0 – 12 | 60 | 1 | 39 | 1,26 | 5,3 | 4,3 | 0,06 | 32 | 7 | 20,6 | |
| | 12 – 28 | 51 | 8 | 41 | 0,64 | 5,0 | 4,6 | 0,11 | 5 | 6 | 1,4 | |
| | 28 – 50 | 50 | 8 | 42 | 0,41 | 4,5 | 44,6 | 0,08 | 6 | 8 | 0,8 | |
| | 50 – 74 | 48 | 10 | 42 | 0,38 | 4,7 | 4,0 | 0,09 | 6 | 2 | 1,1 | |
| | 74- 85 | 42 | 12 | 46 | 0,28 | 4,7 | 4,0 | 0,10 | 8 | 4 | 0,6 | |

Umumnya lahan kering dengan drainase yang relatif baik akan mengalami perubahan sifat tanah di bagian permukaan yang drastis ketika disawahkan secara terus-menerus. Penggenangan air dan pengolahan tanah dengan cara pelumpuran akan mengakibatkan hancurnya agregat tanah, yang

berakibat pada penurunan total porositas tanah dan kemampuan tanah dalam meloloskan air karena terjadinya perubahan struktur tanah. Penggenangan tanah sawah dengan air pengairan yang mengandung lumpur yang umumnya berukuran halus akan lebih mendorong terbentuknya lapisan kedap air, terutama bila tanahnya bertekstur agak kasar, seperti liat berpasir dan lempung berdebu.

Kandungan fraksi liat pada tanah sawah bukaan baru di lahan basah (Tabel 6) umumnya tergolong tinggi, kondisi ini disebabkan oleh lingkungan terbentuknya bahan induk tanah adalah lingkungan pengendapan, dan pada kondisi normal kandungan liat di bagian atas akan tinggi.

Tabel 6. Basa-basa dan kemasaman dapat tukar, kejenuhan basa (KB) serta kapasitas tukar kation (KTK) tanah sawah bukaan baru dari daerah Lubuk Linggau dan Kotabumi

| Profil | Kedalaman cm | Basa-basa dapat ditukar | | | | Total | Kemasaman dapat tukar | | Kejenuhan | | KTK | |
|--------|-----------------|-----------------------------|------|------|------|-------|-----------------------|------|-----------|-----------------------|-------|-------|
| | | Ca | Mg | K | Na | | Al | H | Al | basa | Tanah | Liat |
| | | me 100g tanah ⁻¹ | | | | | | % | | me 100g ⁻¹ | | |
| HP31 | 0 - 12 | 2,66 | 1,10 | 0,16 | 0,12 | 4,04 | 1,36 | 0,52 | 23 | 27 | 14,86 | 25,18 |
| | 12 - 30 | 1,29 | 0,58 | 0,10 | 0,10 | 2,07 | 2,89 | 0,55 | 52 | 21 | 9,82 | 14,87 |
| | 30 - 55 | 0,77 | 0,22 | 0,10 | 0,15 | 1,24 | 3,51 | 0,60 | 66 | 12 | 9,97 | 13,84 |
| | 55 - 98 | 0,55 | 0,18 | 0,08 | 0,18 | 0,99 | 3,87 | 0,68 | 70 | 9 | 10,85 | 14,66 |
| | 98 - 140 | 0,56 | 0,13 | 0,08 | 0,13 | 0,90 | 3,42 | 0,61 | 69 | 10 | 8,73 | 11,64 |
| HP34 | 140 - 160 | 0,64 | 0,12 | 0,08 | 0,12 | 0,96 | 3,64 | 0,60 | 70 | 9 | 10,13 | 14,47 |
| | 0 - 30 | 2,13 | 0,31 | 0,10 | 0,19 | 2,73 | 1,91 | 0,52 | 37 | 19 | 14,10 | 23,11 |
| | 30 - 55 | 1,03 | 0,32 | 0,10 | 0,16 | 1,61 | 3,28 | 0,55 | 60 | 18 | 10,06 | 15,47 |
| | 55 - 100 | 1,06 | 0,35 | 0,16 | 0,31 | 1,88 | 4,34 | 0,66 | 63 | 17 | 11,12 | 16,59 |
| HP12 | 100 - 120 | 1,07 | 0,61 | 0,22 | 0,22 | 2,12 | 4,06 | 0,66 | 59 | 21 | 10,17 | 19,94 |
| | 0 - 12 | 1,53 | 0,42 | 0,15 | 0,04 | 2,14 | 0,22 | 0,06 | 9 | 22 | 9,76 | 13,83 |
| | 12 - 28 | 1,64 | 0,67 | 0,1 | 0,01 | 2,43 | 0,06 | 0,02 | 2 | 29 | 8,38 | 15,03 |
| | 28 - 50 | 1,64 | 0,59 | 0,15 | 0,04 | 2,42 | 0,08 | 0,04 | 3 | 38 | 6,29 | 11,59 |
| | 50 - 74 | 1,34 | 0,42 | 0,02 | 0,04 | 1,82 | 0,58 | 0,13 | 23 | 24 | 7,58 | 7,63 |
| | 74 - 85 | 1,28 | 0,46 | 0,02 | 0,03 | 1,79 | 0,55 | 0,11 | 22 | 24 | 7,56 | 14,32 |

Sifat kimia

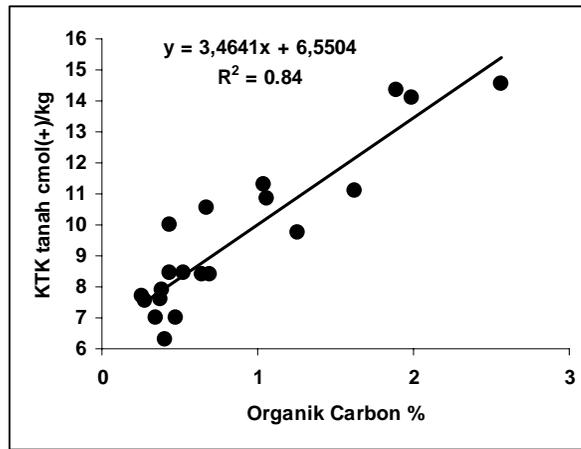
Konversi lahan kering menjadi sawah akan dapat mempertahankan kesuburan tanah dan produktivitas dari lahan kering tersebut. Penggenangan pada tanah sawah bukaan baru yang berasal dari lahan kering dapat menyebabkan

pengaruh positif maupun negatif terhadap status kesuburan tanah. Proses penggenangan dapat menyebabkan sebagian unsur hara seperti nitrogen, fosfor, kalium, besi, kalsium, mangan dan silikat lebih tersedia, tapi unsur lainnya seperti belerang, seng dan tembaga menjadi tidak tersedia (Ponnamperuma, 1976).

Contoh dari beberapa sifat fisik dan kimia tanah sawah bukaan baru hasil konversi lahan kering di daerah Lubuk Linggau dan Kotabumi disajikan pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Sifat kimia tanah seperti pH H₂O, P dan K potensial tidak menunjukkan nilai yang berbeda, namun kandungan besi bebas (Fe₂O₃) pada tanah sawah bukaan baru yang terletak di daerah cekungan (HP31) jauh lebih tinggi daripada tanah sawah di daerah berlereng (HP 34 dan HP 12). Perbedaan ini lebih disebabkan oleh posisi tanah di lapangan yang berseberangan antara daerah akumulasi dan daerah pencucian.

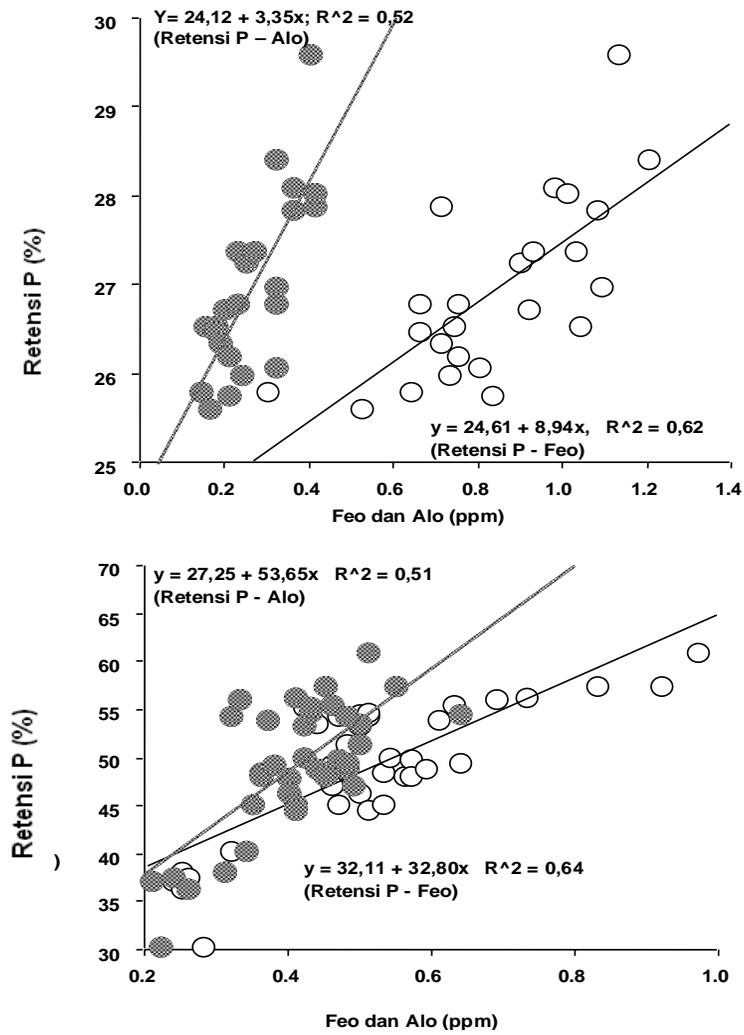
Karena sawah bukaan baru dibuat dari konversi lahan kering jenis Ultisols dan Oxisols, kandungan basa-basa dapat dipertukarkan dan KTK tanahnya umumnya rendah, sedang kejenuhan basa dan kandungan besi bebas bervariasi. Nampak bahwa tanah sawah bukaan baru yang berasal dari lahan kering yang sudah lanjut tingkat perkembangannya (Ultisols dan Oxisols) mempunyai sifat yang sama dengan tanah aslinya, yaitu reaksi tanah masam, miskin unsur hara P dan K, kandungan bahan organik rendah, basa-basa dapat dipertukarkan rendah dan KTK tanah rendah. Hasil penelitian tanah di daerah Kotabumi Lampung menunjukkan bahwa KTK tanah sangat tergantung pada kandungan bahan organiknya (Prasetyo *et al.*, 1996). Unsur-unsur yang dapat mempengaruhi tinggi rendahnya KTK tanah adalah jenis mineral liat yang dikandungnya dan bahan organik. Pada tanah sawah bukaan baru dari konversi lahan kering dengan jenis tanah Ultisol maupun Oxisol, dominasi mineral liatnya adalah kaolinit yang mempunyai nilai KTK rendah sehingga faktor kandungan mineral liat dapat diabaikan. Gambar 4 menunjukkan hubungan yang positif antara kandungan organik karbon dengan KTK tanah dari tanah sawah bukaan baru di daerah Kotabumi, Lampung. Nampak bahwa penambahan bahan organik akan berdampak positif pada peningkatan nilai KTK tanah.



Gambar 4. Hubungan antara KTK tanah dengan organik-C pada tanah sawah bukaan baru di daerah Kotabumi, Lampung (Sumber: Prasetyo *et al.*, 1996)

Defisiensi P merupakan masalah yang umum pada tanah sawah bukaan baru dari lahan kering, dua faktor yang dapat menyebabkan terjadinya defisiensi P adalah kandungan P pada bahan induk tanah rendah dan adanya unsur-unsur dalam tanah yang dapat memfiksasi P sehingga menjadi tidak tersedia untuk tanaman. Beberapa sifat dan unsur tanah yang dapat menyebabkan terjadinya defisiensi P antara lain pH, bahan organik, Fe dan Al terekstrak dari bahan oksida. Pada tanah sawah bukaan baru di daerah Lampung, retensi P terutama disebabkan oleh Al dan Fe dari bahan amorf (Prasetyo *et al.*, 1997; Puslitan; 1996, 1997).

Gambar 5 menunjukkan hubungan yang positif antara retensi P dengan Al dan Fe dari bahan amorf di daerah Lampung. Aluminium yang berasal dari bahan amorf (Alo) merupakan unsur yang selalu mempengaruhi retensi P (Prasetyo *et al.*, 2001c). Kondisi ini disebabkan oleh kenyataan bahwa aluminium merupakan unsur yang paling banyak dalam tanah dan aluminium dari bahan amorf mempunyai ukuran lebih kecil sehingga muatan permukaannya lebih besar dan daya retensi terhadap P jauh lebih besar daripada aluminium dari bahan kristalin (Araki *et al.*, 1986; Pratt *et al.*, 1969). Hubungan antara Fe dan Al dari bahan amorf (Feo dan Alo) dengan retensi P juga ditemukan oleh peneliti-peneliti terdahulu (Araki *et al.*, 1986; Bigham *et al.*, 1978; Feller *et al.*, 1991; Harter, 1969; Lopez dan Burnharm, 1974; Syers *et al.*, 1971).



Gambar 5. Hubungan antara Feo dan Alo dengan retensi P pada tanah Oxisol di daerah Abung Timur (atas) dan Baradatu (bawah), Lampung. (Sumber Puslittanak, 1996; 1997)

Pengelolaan hara pada tanah sawah bukaan baru dari lahan kering merupakan hal yang penting, sebagai contoh pada percobaan di rumah kaca tanah sawah bukaan baru di daerah Lubuk Linggau yang tidak diberi perlakuan pemupukan P tanaman padi mati (Hartatik dan Al-Jabri, 2000). Percobaan rumah kaca menunjukkan bahwa fosfor merupakan pembatas utama pada pertumbuhan tanaman padi pada di tanah Podsolik (Adiningsih dan Sudjadi, 1983).

Reaksi tanah pada tanah sawah bukaan baru akan sangat dipengaruhi oleh bahan induk tanahnya. Pada tanah sawah bukaan baru dari lahan basah yang dipengaruhi oleh bahan karbonat (HP 13) cenderung mempunyai pH yang lebih tinggi dari tanah sawah lainnya.

Tabel 5. Tekstur, pH, bahan organik, fosfat dan potasium potensial tanah sawah bukaan baru dari lahan basah di Musi Banyuasin (P1 dan P7) dan di Sangata (HP13). Sumber Prasetyo *et al.* (2001a) dan Prasetyo *et al.* (2001b)

| Profil | Kedalaman | Tekstur | | | pH H ₂ O | Organik-C | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
|--------|-----------|---------|------|------|---------------------|-----------|-------------------------------|------------------|
| | | Pasir | Debu | Liat | | | | |
| | Cm | % | | | | % | mg 100 g ⁻¹ | |
| P1 | 0-9/15 | - | - | - | 4,0 | 13,26 | 21 | 8 |
| | 9/15-36 | 6 | 29 | 65 | 3,6 | 3,06 | 8 | 16 |
| | 36-65 | 8 | 31 | 61 | 2,6 | 4,62 | 14 | 49 |
| | 65-116 | 3 | 37 | 60 | 3,5 | 4,89 | 25 | 63 |
| | 116-150 | 3 | 50 | 47 | 4,8 | 4,01 | 36 | 87 |
| P7 | 0-16 | 0 | 35 | 65 | 4,2 | 4,09 | 41 | 20 |
| | 16-40 | 0 | 32 | 68 | 4,6 | 1,43 | 7 | 24 |
| | 40-90 | 1 | 32 | 67 | 4,1 | 5,33 | 13 | 54 |
| | 90-13 | 1 | 31 | 68 | 4,2 | 5,99 | 17 | 83 |
| HP13 | 0 – 15 | 8 | 12 | 80 | 4,7 | 4,54 | 10 | 19 |
| | 15 – 40 | 0 | 23 | 77 | 4,9 | 1,38 | 9 | 20 |
| | 40 – 75 | 0 | 25 | 75 | 6,4 | 0,70 | 12 | 23 |
| | 75 – 100 | 1 | 25 | 74 | 6,8 | 0,48 | 68 | 24 |
| | 100 – 120 | 0 | 32 | 68 | 7,0 | 0,49 | 42 | 22 |

Dari hasil penelitian yang pernah dilakukan, terlihat bahwa ada beberapa sifat kimia tanah sawah bukaan baru dari lahan basah yang berkorelasi satu sama lain, diantaranya retensi P yang berkorelasi positif dengan Al dari bahan amorf,

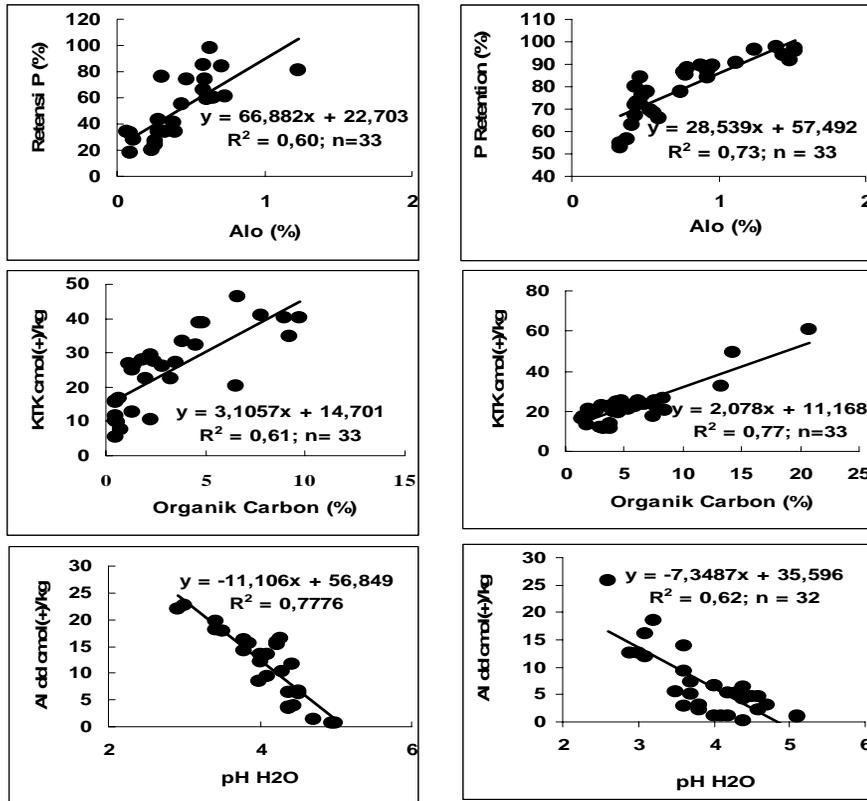
KTK yang berkorelasi positif dengan organik karbon, serta Al dapat dipertukarkan yang berkorelasi secara negatif dengan pH H₂O. Gambar 6 menunjukkan hubungan antara sifat kimia tanah tersebut. Gambar sebelah kanan berasal dari tanah sawah di Musi Banyuasin (Prasetyo *et al.*, 2001a), sedang gambar bagian kiri adalah dari tanah sawah di daerah Sangata, Kalimantan Timur (Prasetyo dan Hikmatullah, 2001b).

Susunan kation dapat dipertukarkan antara tanah sawah bukaan baru dari daerah pasang surut dengan daerah aluvial dapat berbeda, dan perbedaan tersebut juga berhubungan dengan pengaruh bahan induk serta lingkungan pembentukan bahan induk tersebut. Di daerah pasang surut kation Mg mendominasi susunan kation, kondisi ini lebih disebabkan adanya pengaruh dari garam-garam MgCl di daerah pasang surut. Sedangkan di daerah aluvial, kation Ca mendominasi susunan kation.

Tabel 6. Kation dapat tukar, KB dan KTK pada tanah sawah bukaan baru dari lahan basah di daerah Musi Banyasin dan Sangata

| Contoh | Kedalaman | Kation dan kemasaman dapat tukar | | | | | KB | KTK | |
|--------|-----------|----------------------------------|-------|------|------|-------|------|------------------------------|-------|
| | | Ca | Mg | K | Na | Total | | Tanah | Liat |
| | Cm | me 100 g tanah ⁻¹ | | | | | % | me 100 g tanah ⁻¹ | |
| P1 | 0-9/15 | 1,64 | 4,41 | 0,11 | 0,71 | 6,87 | 21 | 32,26 | 51,21 |
| | 9/15-36 | 1,67 | 6,02 | 0,17 | 0,93 | 8,79 | 38 | 23,00 | 35,38 |
| | 36-65 | 2,12 | 7,90 | 0,08 | 0,79 | 10,89 | 45 | 24,16 | 39,61 |
| | 65-116 | 4,78 | 18,07 | 0,60 | 3,24 | 26,69 | 100 | 25,02 | 41,70 |
| | 116-150 | 6,04 | 19,18 | 1,07 | 5,06 | 31,35 | 100 | 23,04 | 49,02 |
| P7 | 0-16 | 3,81 | 8,19 | 0,22 | 4,63 | 16,85 | 84 | 20,07 | 30,88 |
| | 16-40 | 2,84 | 8,50 | 0,24 | 3,62 | 15,20 | 94 | 16,25 | 23,90 |
| | 40-90 | 4,07 | 14,63 | 0,58 | 5,25 | 24,53 | 100 | 21,31 | 31,81 |
| | 90-13 | 5,31 | 19,37 | 0,88 | 6,96 | 32,52 | 100 | 22,06 | 32,44 |
| HP13 | 0 – 15 | 14,77 | 4,73 | 0,21 | 0,28 | 19,99 | 62 | 32,21 | 40,26 |
| | 15 – 40 | 15,99 | 4,44 | 0,18 | 0,35 | 20,96 | >100 | 12,86 | 16,70 |
| | 40 – 75 | 16,72 | 3,00 | 0,18 | 0,87 | 20,77 | >100 | 16,67 | 22,22 |
| | 75 – 100 | 16,31 | 2,50 | 0,14 | 0,82 | 19,77 | >100 | 15,78 | 21,32 |
| | 100 – 120 | 17,30 | 3,18 | 0,16 | 0,68 | 21,32 | >100 | 15,41 | 22,66 |

Kapasitas tukar kation (KTK) tanah dipengaruhi oleh bahan organik, semakin tinggi kandungan bahan organik, akan semakin tinggi pula nilai KTK tanahnya (Gambar 6). Sebetulnya tidak hanya bahan organik yang berperan dalam mempengaruhi nilai KTK, kandungan mineral liat smektit juga mempunyai andil dalam meningkatkan nilai KTK. Tanah sawah bukaan baru dari daerah Musi Banyuasin yang masih mengandung mineral liat smektit mempunyai nilai KTK liat yang lebih besar bila dibandingkan dengan tanah sawah bukaan baru di daerah Sangata yang tidak mengandung mineral smektit (Tabel 6).



Gambar 6. Hubungan antara retensi P dengan Al oksalat, KTK tanah dengan organik karbon, dan Alld dengan pH H₂O, pada tanah sawah bukaan baru di daerah Musi Banyuasin dan Sangata (Sumber: Prasetyo *et al.*, 2001a; 2001b)

DAFTAR PUSTAKA

- Adiningsih, J.S., dan M. Sudjadi. 1983. Pengaruh penggenangan dan pemupukan terhadap tanah Podsolik Lampung Tengah. *Pemberitaan Penelitian Tanah dan Pupuk* 2: 1-7.
- Adiningsih, J.S., dan T. Prihatini. 1986. Pengaruh pengapuran dan inokulan terhadap produksi dan pembtilan tanaman kedelai pada tanah Podsolik di Sitiung II, Sumatera Barat. hlm. 139-150 *dalam* Kurnia *et al.* (Eds.) *Prosiding Pertemuan Teknis Penelitian Tanah*. Cipayung, 10-13 November 1981.
- Araki, S., H. Hirai, and. K. Kyuma. 1986. Phosphate absorbtion of red and or yellow colored soil materials in relation to the characteristics of free oxides. *Soil Sci. Plant. Nutr.* 32: 609 - 616.
- Bigham, J. M., D. C. Golden, S. W. Buol, S. B. Weed, and L. H. Bowen. 1978. Iron Oxide mineralogy of well drained Ultisols and Oxisols: II. Influence on color, surface area, and phosphate retention. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 42: 825-830.
- Borehardt, G.A. 1989. Montmorillonite and other smectite minerals. p. 293-330. *In* J.B. Dixon and S.B. Weed (Eds.). *Minerals in Soil Environmental*. Soil Sci. Of Amer., Madison, Wisconsin, USA.
- De Coninck, F. 1974. *Physico-chemical aspects of pedogenesis*. State Univ. Of Ghent.
- Feller, C., E. Fritch, R. Poss, and C. Valentin. 1991. Effet de la texture sur la stockage et la dynamique de la matiere organique dans quelque sols Ferrugineux et Ferralitiques. *Cah., ORSTOM, ser. Ped.* 26: 25 - 36.
- Harter, R. D. 1969. Phosphorous adsorption sites in soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 33: 630-632.
- Hardjowigeno, S., H. Subagyo, dan M. L. Rayes. 2004. Morfologi dan klasifikasi tanah sawah. hlm. 1-28 *dalam* Fahmuddin, A., A. Adimihardja, S. Hardjowigeno, A. M. Fagi, W. Hartatik (Eds.). *Tanah Sawah dan Teknologi Pengelolaannya*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Hartatik, W. Dan M. Al-Jabri. 2000. Pengaruh pemupukan P dan K terhadap sifat kimia dan hasil padi sawah pada sawah bukaan baru Ultisol Tugu Mulyo, Sumatera Selatan. hlm. 201-216 *dalam* Las, I. *et al.* (Eds.). *Prosiding Seminar Nasional Sumber daya Lahan*. Cisarua, 9-11 Februari 1999.

- Kanno, I., Y. Honyo, S. Arimura, and S. Takudome. 1964. Genesis and characteristics of rice soils developed on ploder lands of shiroishi area, Khyushu. *Soil Sci. Plant Nutr.* 10: 1-20.
- Lopez, H.I.D. and C.P. Burnham. 1974. The covariance of phosphate sorption with other soil properties in some British and Tropical Soils. *J. Soil Sci.* 25: 197-206.
- Munir, M. 1987. Pengaruh penyawahan terhadap morfologi, pedogenesis, elektrokimia dan klasifikasi Tanah. Desrtasi. Program Pasca Sarjana-IPB, Bogor.
- Ponnamperuma, F.N. 1976. Specific soil chemical characteristics for rice production in Asia. IRRI Research Paper Series No. 2. The International Rice Research Institute, Manila, the Philippines.
- Ponnamperuma, F.N. 1978. Electrochemical changes in submerged soil and the growth of rice. IRRI. Los Banos, Philippines.
- Pratt, P.F., E.F. Paterson, and C.S. Halzley. 1969. Qualitative mineralogy and chemical properties of few soils from Sao Paulo, Brazil. In P. A. Sanchez. *Properties and managemen of soils in the tropics.* J. Wiley and Sons, New York. 618 pp.
- Prasetyo, B.H., Sulaeman, dan H. Subagyo. 1996. Tanah sawah bukaan baru di daerah Kotabumi, Lampung: Karakterisasi dan prospek penggunaan pupuk P-alam. hlm. 131-146 *dalam* Santoso, D. (Eds.) *Prosiding Pertemuan Pembahasan dan Komunikasi Penelitian Tanah dan Agroklimat.* Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Prasetyo, B.H., Sulaeman, and N. Sri Mulyani. 1997. Red Yellow soils from Kotabumi, Lampung: Their characteristics, classification, and utilization. *Indonesian Journal of Crops Science* 12 (1 & 2): 37-45.
- Prasetyo, B.H., S. Suping, Subagyo, Mujiono, and H. Suhardjo. 2001a. Characteristics of rice soils from the tidal flat areas of Musi Banyuasin, South Sumatra. *Indonesian Journal of Agricultural Science* 2 (1): 10-26.
- Prasetyo, B.H., dan Hikmatullah. 2001b. Potensi dan kendala pengembangan tanaman pangan lahan basah di Kabupaten Kutai Timur, Kalimantan Timur. *Jurnal Tanah dan Air* 2 (2): 97-106.

- Prasetyo, B.H., S. Ritung, dan A. B. Siswanto. 2001c. Hubungan antara beberapa sifat kimia tanah dengan erapan fosfat dari beberapa jenis tanah. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian* 20 (4): 131-137.
- Prasetyo, B.H. 2006. Evaluasi tanah sawah bukaan baru di daerah Lubuk Linggau, Sumatera Selatan. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian Indonesia* 8 (1): 31-43.
- Prasetyo, B.H., H. Suganda, dan A. Kasno. 2007. Pengaruh bahan vulkan pada tanah sawah.
- Puslittanak (Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat). 1996. Penelitian Mineral dan Sifat Kimia Tanah dalam Kaitannya dengan Kapasitas Erapan P pada Tanah Sawah Bukaan Baru. Laporan Kegiatan I. 21 hlm.
- Puslittanak (Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat). 1997. Penelitian Mineral dan Sifat Kimia Tanah dalam Kaitannya dengan Kapasitas Erapan P pada Tanah Sawah Bukaan Baru. Laporan Kegiatan II. 21 hlm.
- Puslittanak, 1993. Survei dan Penelitian Tanah Merowi I, Kalimantan Barat.
- Syers, J.K., T.D. Evans, J.D.H. Williams, and J.T. Murdock. 1971. Phosphate sorption parameters of representative soils from Rio Grande do Sul, Brazil. *Soil Sci.* 112: 267-275.
- Tadano, T. and S. Yoshida. 1978. Chemical changes in submerged soils and their effect on rice growth. p. 399-420. *In* The International Rice Research Institute.
- Tan, K.H. 1982. Principle of soils chemistry. The University of Georgia. College of Agriculture, Athens, Georgia.
- Tardy, Y., G. Bocquier, H. Paquet, and G. Millot. 1973. Formation of clay from granite and its distribution in relation to climate and topography. *Geoderma* 10: 271-284.
- Van Wambeke, A. 1992. Soils of the tropics. Properties and Appraisal. McGraw-Hill Inc. New York. 343 p.
- Yusuf, A., D. Syamsudin, G. Satari, dan S. Djakasutmi. 1990. Pengaruh pH dan Eh terhadap kelarutan Fe, Al dan Mn pada lahan sawah bukaan baru jenis Oxisol Sitiung. hlm. 237-269 *dalam* Prosiding Pengelolaan Sawah Bukaan Baru Menunjang Swasembada Pangan dan Program Transmigrasi: Prospek dan Masalah. Padang, 17-18 September 1990. Faperta Univ. Ekasakti, Balittan Sukarami, Padang.

4. PERUBAHAN SIFAT KIMIA TANAH DAN AMELIORASI SAWAH BUKAAN BARU

Wiwik Hartatik, Sulaeman, dan A. Kasno

PENDAHULUAN

Penyusutan lahan sawah subur di Jawa dan terjadinya pelandaian produktivitas merupakan masalah dan perlu program ekstensifikasi. Pengembangan lahan sawah bukaan baru diarahkan pada lahan-lahan di luar Jawa. Lahan untuk pengembangan sawah irigasi di luar Jawa didominasi oleh Ultisols dan Oxisols (Suharta *et al.*, 1994). Tanah tersebut umumnya mengandung Al dan Fe tinggi yang dapat meracuni tanaman, kahat hara P dan K. Kadar Fe yang tinggi pada lahan sawah baru terakumulasi pada daerah perakaran, yang mengakibatkan akar tanaman tidak mampu berkembang. Selain itu tanaman tidak dapat menyerap unsur hara dari dalam tanah.

Pembukaan sawah baru akan menghadapi beberapa masalah antara lain: (a) jumlah air yang dibutuhkan untuk pelumpuran cukup banyak; (b) produktivitas tanah masih rendah; dan (c) perubahan proses fisikokimia yang sedang berlangsung akibat penggenangan dapat mengganggu pertumbuhan tanaman, seperti keracunan besi atau mangan (Nursyamsi *et al.*, 1996).

Menurut Widjaja-Adhi (1984) produktivitas tanah yang rendah berkaitan dengan kemasaman tanah antara lain: (a) konsentrasi toksik Al dan Mn; (b) kekahatan Ca dan Mg; (c) mudahnya K tercuci; (d) jerapan P, S dan Mo; (e) pengaruh buruk dari H⁺; serta (f) hubungan tata air dan udara. Kondisi reduksi akan meningkatkan ketersediaan besi fero dalam tanah yang dalam konsentrasi tertentu bersifat racun terhadap tanaman padi.

Ketidaksesuaian sifat tanah juga ditemui pada lahan sawah bukaan baru. Misalnya lahan sawah bukaan baru di Tugumulyo, Musi Rawas, Sumatera Selatan berasal dari Ultisols, Oxisols dan Inceptisols. Mineral pasir yang dominan adalah mineral kuarsa dengan kadar antara 20-80% (Prasetyo, 2006). Hal ini mengindikasikan bahwa tanah tersebut miskin hara dan sudah mengalami perkembangan lanjut. Susunan mineral liat didominasi oleh mineral liat 1:1

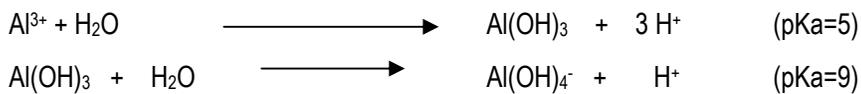
(kaolinit), yang mempunyai kapasitas tukar kation (KTK) rendah. Tanah sawah di Tugumulyo bersifat masam, kadar C-organik, N, P dan K rendah, kandungan basa dapat tukar rendah dan didominasi oleh Ca dan Mg, kandungan Fe bebas tergolong sedang hingga tinggi. Susunan mineral pasir lahan sawah bukaan baru di Lampung Utara juga didominasi oleh kuarsa (62-80%), mineral liat didominasi oleh mineral liat tipe 1:1 atau kaolinit (99%) (Prasetyo *et al.*, 1997).

Sawah bukaan baru dapat berasal dari lahan kering yang digenangi atau lahan basah yang dijadikan sawah. Hara N, P, K, Ca, dan Mg merupakan pembatas pertumbuhan dan hasil padi pada lahan sawah bukaan baru di Desa Dwijaya, Tugumulyo (Kasno *et al.*, 1999), hara N, P dan K merupakan pembatas pertumbuhan dan hasil padi pada Ultisols Tatakarya, Lampung dan Inceptisol Muarabeliti, Sumatera Selatan (Nursyamsi *et al.*, 1996), demikian juga pada Ultisol Bandar Abung dan Tapin (Widowati *et al.*, 1997).

PERUBAHAN SIFAT KIMIA TANAH SAWAH BUKAAN BARU

Peningkatan pH

Reaksi reduksi mengkonsumsi proton, sehingga pada umumnya pH tanah yang digenangi akan meningkat mendekati netral. Aluminium dari mineral liat yang digantikan oleh kation lain, akan terhidrolisis menjadi senyawa kompleks aluminium hidroksida yang berupa endapan yang tidak meracuni tanaman. Hidrolisis Al^{3+} menghasilkan H^+ yang menurunkan pH, reaksinya dapat diilustrasikan sebagai berikut:



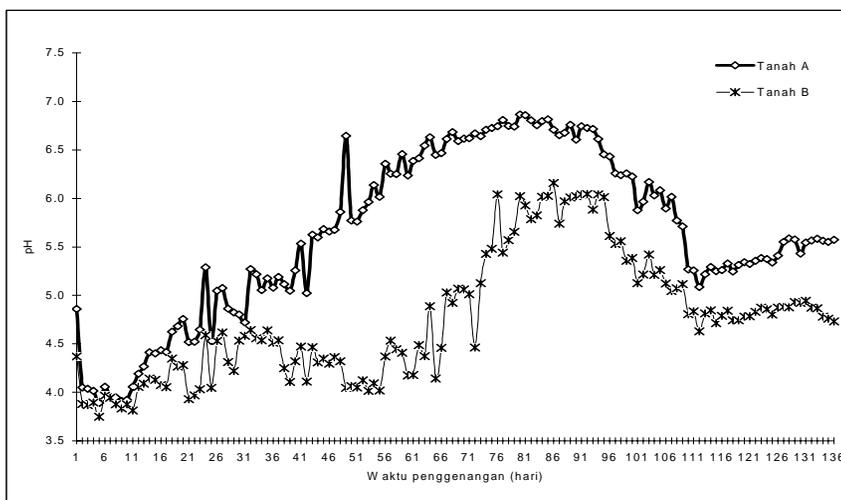
Berdasarkan pKa-nya, bentuk-bentuk aluminium pada daerah pH dapat digambarkan seperti berikut ini:

| | | |
|-----------|------------|--------------|
| Al^{3+} | $Al(OH)_3$ | $Al(OH)_4^-$ |
| pH | 5 | 9 |

Aluminium bersifat amfoter, pada pH di bawah 5, aluminium didominasi oleh bentuk Al^{3+} yang larut sehingga meracun, di antara pH 5 dan pH 7 bentuk $\text{Al}(\text{OH})_3$ yang mengendap mendominasi, sedangkan di atas pH 9 aluminium kembali larut dalam bentuk $\text{Al}(\text{OH})_4^-$. Namun demikian tanah-tanah yang memiliki pH <4 tidak memberikan kenaikan pH pada penggenangan. Hal ini diduga karena tidak aktifnya mikroba yang mengkatalisasi reaksi reduksi.

Peningkatan pH tanah dari 5-7 menyebabkan naiknya ketersediaan P. Hal ini disebabkan dibebaskannya P dari senyawa AlPO_4 yang sukar larut ($K_{sp} = 10^{-23}$) karena Al membentuk senyawa $\text{Al}(\text{OH})_3$ yang lebih sukar larut ($K_{sp} = 10^{-33}$) (Dixon dan Weed, 1977).

Waktu penggenangan pada sawah bukaan baru Ultisols Sumatera Selatan yang dibuka 5 tahun (tanah A) dan 1 tahun (tanah B) sangat berpengaruh terhadap nilai pH tanah. pH tanah meningkat dari 4,5 pada tanah A dan 4,6 pada tanah B menjadi 6,8 dan 6,2 (Gambar 1) (Hartatik, 1998). Penggenangan tanah Ultisol/Podsolik dari Lampung dapat meningkatkan pH tanah, kadar hara N, P, K, Ca, Mn, Fe, dan Zn serta daya hantar listrik. Penambahan jerami padi dapat meningkatkan hara K, Ca dan Mn yang terlarut, dan menurunkan kadar Fe bebas (Adiningsih dan Sudjadi, 1983)



Gambar 1. Pola nilai pH tanah selama penggenangan 4 bulan

pH tanah meningkat seiring dengan lamanya waktu penggenangan, dan E_H semakin menurun dari 242 menjadi -87 mV (Kasno *et al.*, 1999). Penambahan bahan organik pada pengairan yang dilakukan secara kontinu dapat menurunkan E_H tanah. Terdapat hubungan yang negatif antara pH dan E_H tanah (Sulaeman *et al.*, 1997; Kasno *et al.*, 1999). Meningkatnya pH tanah masam menyebabkan ketersediaan P mengalami peningkatan karena meningkatnya kelarutan mineral strengit ($FePO_4 \cdot 2H_2O$) dan variscit ($AlPO_4 \cdot 2H_2O$).

Penurunan potensial redoks (E_H)

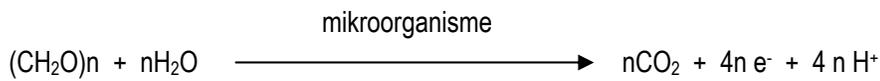
Potensial redoks (reduksi-oksidasi) adalah suatu ukuran yang dipergunakan untuk mengukur adanya perpindahan elektron (e^-). Dengan demikian, potensial redoks erat hubungannya dengan proses reduksi dan oksidasi (redoks). Perubahan potensial redoks merupakan parameter yang paling penting untuk menentukan sifat elektro kimia suatu tanah sawah yang tergenang. Pada sawah bukaan baru perubahan potensial redoks ini menjadi sangat penting karena mempunyai karakter tersendiri berbeda dengan sawah yang sudah dibuka lama yang dicirikan oleh nilai potensial redoks sangat rendah atau negatif.

Apabila tanah digenangi (rawa dan sawah), oksigen didesak keluar dan proses dekomposisi berlangsung dalam keadaan anaerob. Ketika seluruh ruang pori tanah diisi air, ketersediaan oksigen dalam tanah berkurang drastis. Oksigen hanya bisa masuk melalui difusi ke dalam air dengan kecepatan 10.000 kali lebih lambat daripada difusi melalui pori-pori (Gambrell dan Patrick, 1978). Hal ini menyebabkan terjadinya defisit oksigen. Beberapa golongan mikroorganisme fakultatif aerobik seperti *pseudomonas*, *bacillus* dan *paracoccus* dapat mereduksi nitrat dan nitrit. Organisme-organisme ini mengubah respirasi aerobik menjadi anaerobik dengan menggunakan NO_3^- sebagai aseptor elektron dalam ketiadaan oksigen. Beberapa autotrop juga mampu melakukan denitrifikasi termasuk *Thiobacillus denitrificans* dan *Thiobacillus thioparus*.

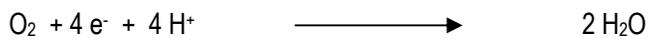
Selama oksigen bebas ada dalam larutan, potensial redoks (E_H) bervariasi sekitar +400 hingga +700 mV. Setelah oksigen habis, tingkat reduksi tanah akan berkisar antara +400 hingga -300 mV. Bahan organik merupakan senyawa yang paling tereduksi, bahan tersebut dapat dioksidasi (donor elektron)

bila aseptor elektron tersedia, termasuk O_2 , NO_3^- , Mn_4^+ , Fe^{3+} , SO_4^{2-} atau CO_2 (asam organik). Dekomposisi bahan organik paling cepat terjadi dengan adanya oksigen dan untuk elektron aseptor lain berturut-turut melambat hingga yang terlambat CO_2 . Melambatnya proses penangkapan elektron menyebabkan penumpukan elektron di dalam sistem yang menyebabkan penurunan E_H .

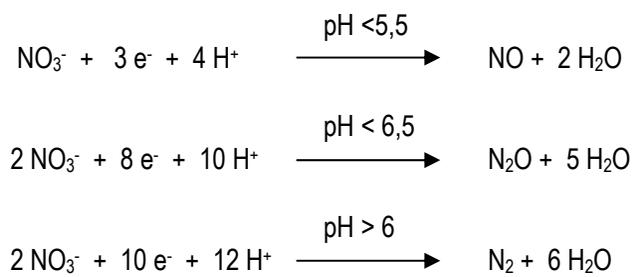
Oksidasi senyawa organik dapat diilustrasikan sebagai berikut:



Pada oksidasi aerobik, oksigen bertindak menjadi aseptor elektron.



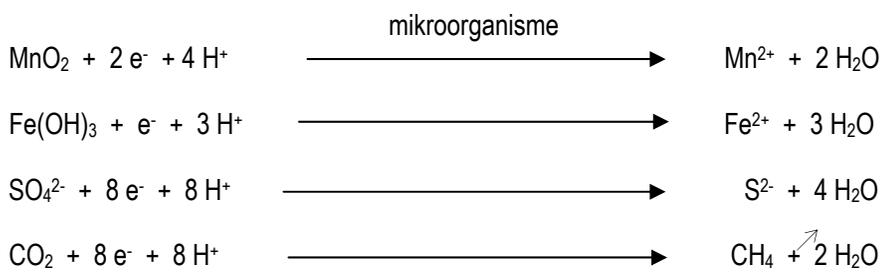
Setelah oksigen habis, atau dalam keadaan jenuh air tanah menjadi anaerobik dan reaksi pertama yang berlangsung pada kondisi ini adalah denitrifikasi yang menyebabkan kehilangan N-tanah menjadi gas, yaitu reduksi NO_3^- menjadi NO_2^- dan seterusnya menjadi N_2O atau N_2 . Nitrat menjadi aseptor elektron pada E_h sekitar 250 mV.



Faktor lingkungan yang paling penting dalam menentukan kecepatan proses denitrifikasi adalah jenis bahan organik yang ada, kadar air, aerasi, pH tanah, suhu tanah dan kadar serta bentuk N anorganik. Bahan organik yang mudah terdekomposisi akan mempercepat proses denitrifikasi. Pemberian pupuk kandang mempercepat penurunan kondisi redoks tanah dan meningkatkan

kelarutan besi dan kadar P dalam tanah meningkat (Hanum, 2004). Makin tinggi kadar air tanah, maka akan semakin cepat proses denitrifikasi. Aerasi atau ketersediaan oksigen menghambat denitrifikasi. Pada tanah beraerasi baik, denitrifikasi kelihatannya dapat berjalan bila kebutuhan oksigen biologi melebihi pasokan. Pengaruh pH terhadap nitrifikasi sangat nyata, karena bakteri yang terlibat dalam reduksi biokimia ini peka terhadap pH rendah. Proses nitrifikasi sangat peka terhadap suhu dan meningkat cepat pada pertambahan suhu dari 2 ke 25 °C. Kecepatan proses dekomposisi lebih cepat lagi pada kisaran suhu 25 ke 60 °C, hal ini mengindikasikan bahwa mikroorganisme termofil berperan besar dalam proses ini. Denitrifikasi terhambat bila suhu >60 °C. Kehilangan NH_4^+ juga terjadi akibat proses nitrifikasi-denitrifikasi pada lapisan permukaan tanah tergenang.

E_H tanah akan turun lagi setelah nitrat habis. Selama bahan organik sebagai sumber energi masih tersedia, mikroorganisme terus berkembang dan mencari senyawa yang dapat bertindak sebagai aseptor elektron terminal. Jenis mikroorganismepun berubah dari fakultatif aerobik menjadi obligat anaerobik. Berikutnya senyawa mangan mendapat giliran untuk ditransformasikan dari mangani menjadi mangano. Mangan menjadi aseptor elektron pada E_H sekitar 225 mV. Kemudian transformasi feri menjadi fero pada 120 mV, sedangkan sulfat direduksi menjadi sulfida pada -75 hingga -150 mV. Akhirnya, pada kondisi yang paling reduktif, senyawa organik itu sendiri atau karbondioksida mulai menjadi elektron aseptor terminal pada sekitar -250 mV (fermentasi). Reaksi-reaksi transformasinya sebagai berikut:



Hubungan perubahan E_H dan pH

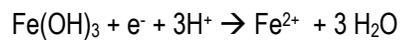
Potensial redoks (E_H) merupakan sifat elektro kimia yang dapat digunakan untuk mengukur tingkat reduksi tanah. Selama oksigen masih ada dalam larutan tanah, maka kondisinya oksidatif dengan nilai $E_H > 700$ mV. Pada kondisi ini, tingkat oksidasi tanah biasa diukur sebagai oksigen terlarut menggunakan alat oksigen meter. Penggenangan tanah pada umumnya menyebabkan penurunan E_H dan kenaikan pH.

Secara teoritis hubungan E_H dan pH dapat dihitung dengan persamaan Nernst, sebagai berikut (Bohn *et al.*, 1979):

$$E_H (V) = E^0 + 0,059/n \log ([\text{oksidan}]/[\text{reduktan}]) - 0,059 m/n \text{ pH}$$

Di mana E^0 = potensial baku; m dan n = mol proton dan elektron

Dari persamaan tersebut dapat diketahui bahwa kenaikan satu unit pH juga akan menurunkan E_H sebesar $m/n \times 59$ mV. Penurunan ini bukan disebabkan oleh meningkatnya nisbah konsentrasi oksidan terhadap reduktan. Sebagai contoh, apabila besi dianggap sebagai komponen utama redoks di dalam tanah berdasarkan reaksi:



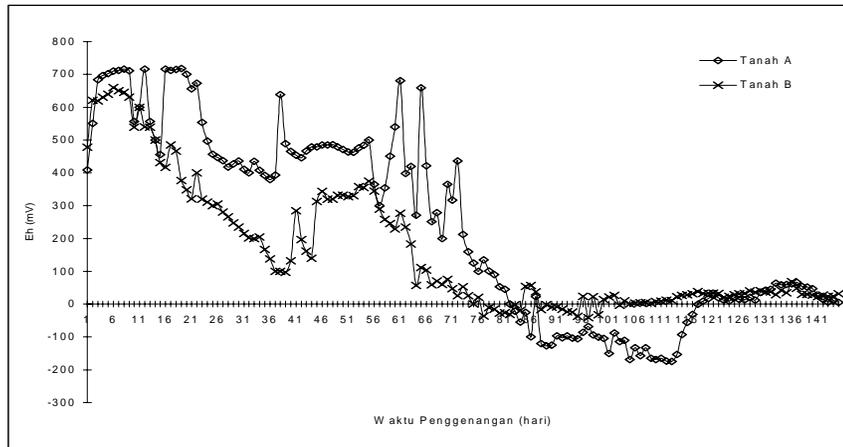
Maka penurunan E_H yang disebabkan oleh kenaikan satu unit pH adalah:

$$m/n \times 59 \text{ mV} = 3/1 \times 59 \text{ mV} = 177 \text{ mV}$$

Pada penelitian di laboratorium menggunakan tanah sawah bukaan baru dari Bandar Abung dan Dorowati diperoleh hubungan regresi linier antara penurunan E_H dan kenaikan pH dengan koefisien korelasi (r) sekitar 0,9. Kenaikan satu unit pH diperoleh dari penurunan E_H sekitar 270-450 mV. Penurunan E_H ini adalah jumlah penurunan karena proses reduksi dan kenaikan pH. Oleh karenanya untuk menunjukkan kondisi reduktif nilai E_H biasa dinyatakan untuk suatu nilai pH, misalnya E_H^7 , yaitu nilai E_H pada pH 7 (Sulaeman *et al.*, 1997).

Pada tanah sawah bukaan baru perubahan E_H ini terjadi sangat drastis dari positif ke negatif sesuai dengan lamanya penggenangan seperti disajikan

pada Gambar 2 (Hartatik, 1998). Terjadi penurunan E_H dari 646 dan 716 mV menjadi -100 mV. Pada penggenangan lahan sawah baru secara kontinu, pada minggu kedelapan nilai E_H sampai 68% dari E_H awal, stabil setelah minggu ke-14 (Yusuf, 1992). Tanpa pemberian bahan organik penggenangan lahan sawah nilai E_H pada minggu ke-12 adalah 36 mV, sedangkan yang diberi 20 t bahan organik ha^{-1} nilai E_H berkisar dari -57,5 hingga -269 mV (Hanum, 2004).



Gambar 2. Pola nilai potensi redoks tanah selama penggenangan 4 bulan

Pengaruh perubahan potensial redoks atau E_H dan pH terhadap erapan P, kelarutan besi dan hara lain diteliti di laboratorium. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan E_H akan berpengaruh terhadap daya sangga P tanah dengan nilai berkisar 200-6.000 mg P kg tanah⁻¹. Besi sudah mulai tereduksi pada E_H 400 mV dan memberikan kadar besi terlarut tertinggi sebesar 59 ppm dan pada E_H terendah (-300 mV), kadar Fe yang dapat tereduksi masih tergolong rendah. Tanah sawah bukaan baru Hapludox di Lampung tidak menunjukkan potensi keracunan Fe dan Mn, disebabkan rendahnya kadar Fe dan Mn yang dapat direduksi, namun rendahnya kadar unsur hara lain dapat menyebabkan tanaman peka terhadap keracunan besi (Sulaeman *et al.*, 1997).

Perubahan E_H berpengaruh pula terhadap kelarutan Mn, Cu, Zn, NO_3^- , NH_4^+ dan SO_4^{2-} . Penurunan E_H menyebabkan reduksi NO_3^- dan denitrifikasi,

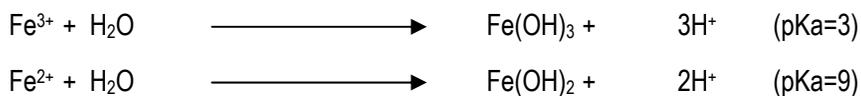
pelepasan NH_4^+ dari kompleks pertukaran ke larutan tanah, kemudian pada E_H 400-200 terjadi reduksi Mn^{4+} , pada E_H 300-100 terjadi reduksi Fe^{3+} dan selanjutnya pada E_H 0- (-150) terjadi reduksi SO_4^{2-} (Levy dan Toutain, 1982).

Penggenangan tanah Ultisols di Tugumulyo, Sumatera Selatan, yang baru dibuka 5 tahun dan 1 tahun, meningkatkan kadar Fe terlarut berturut-turut dari 0,33 menjadi 74,13 ppm dan dari 0,07 menjadi 62,07 ppm. Mangan, seng dan tembaga terlarut berkurang dengan penurunan E_H , demikian juga kadar nitrat, amonium, kalium dan magnesium menurun dengan semakin rendahnya nilai potensial redoks. Tetapi kadar sulfat meningkat sampai E_H 115 mV, kemudian menurun kembali sampai E_H -72 mV pada tanah yang baru dibuka 1 tahun. Pemberian Fe 200 ppm pada tanaman padi sudah menunjukkan gejala bronzing, meningkatkan kadar Fe tanaman dan menurunkan serapan hara P, K, Ca, Mg dan meningkatkan nisbah Fe/P, Fe/K dan Fe/Ca tanaman.

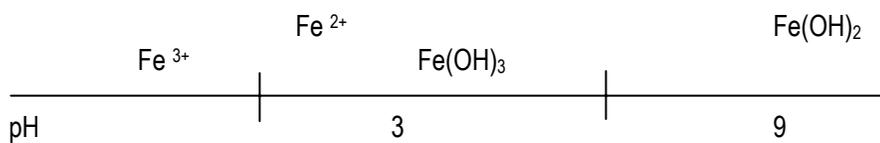
Penurunan E_H tanah menurunkan daya sangga P tanah kemudian meningkat kembali pada E_H 100 dan 300 mV. Penurunan E_H meningkatkan kapasitas erap P. Pada tanah yang baru dibuka 5 tahun kapasitas erap P tertinggi terjadi pada E_H -100 mV dan tanah yang baru dibuka 1 tahun pada E_H 300 mV. Perbedaan nilai E_H disebabkan perbedaan kandungan besi oksida kedua tanah. Kebutuhan pupuk P untuk mencapai 0,02 ppm terlarut pada tanah yang baru dibuka 5 tahun yaitu 394 kg SP-36 ha⁻¹ dan pada tanah yang baru dibuka 1 tahun yaitu 280 kg SP-36 ha⁻¹, kebutuhan pupuk P yang sedikit lebih rendah ini diduga pada tanah yang baru dibuka 5 tahun lebih banyak besi dalam bentuk amorf yang memfiksasi P (Hartatik, 1998).

Peningkatan kelarutan besi fero

Hidrolisis besi serupa dengan hidrolisis aluminium. Hidrolisis Fe^{3+} berlangsung pada kondisi lebih masam, sedangkan Fe^{2+} lebih basa daripada Al^{3+} . Hidrolisis besi diperlihatkan dengan persamaan berikut:



Bentuk-bentuk besi pada daerah pH sebagai berikut:



Namun kondisi reduktif dapat berpengaruh positif dalam peningkatan pH tanah dan ketersediaan hara P. Penggenangan pada tanah mineral masam bukaan baru menyebabkan terjadinya reduksi besi feri menjadi besi fero. Konsentrasi besi fero meningkat sampai 600 ppm setelah digenangi sekitar 3-4 minggu (Ponnamperuma, 1978). Pada kondisi ini kadar Fe^{2+} pada tanaman padi bisa lebih 300 ppm yang merupakan batas kritis keracunan besi pada tanaman padi (Yusuf *et al.*, 1990). Pada sawah bukaan baru yang digenangi secara kontinyu konsentrasi Fe^{2+} meningkat sejak awal penggenangan hingga minggu ke-12 dan stabil pada minggu ke-14 (Yusuf, 1992). Pada kondisi tertentu pengaruh sistem drainase lebih dominan untuk menurunkan konsentrasi besi dalam tanah, kemudian dapat diikuti dengan penambahan bahan organik dan kapur.

Reduksi Fe^{3+} menjadi Fe^{2+} menurunkan ketersediaan P, karena P tanah dalam bentuk FePO_4 yang sukar larut ($K_{sp} = 10^{-26}$) berubah menjadi $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$ yang sangat sukar larut ($K_{sp} = 10^{-36}$) (Dixon dan Weed, 1977). Namun demikian reaksi ini berlangsung jauh lebih lambat daripada reaksi pengendapan Al(OH)_3 yang membebaskan P dari senyawa Al-P yang sukar larut, sehingga pada penggenangan tanah banyak dilaporkan adanya kenaikan P tersedia.

Reaksi P dengan Fe dan Al yang menghasilkan senyawa yang sukar larut menyebabkan fiksasi P yang menurunkan ketersediaan P. Fiksasi fosfat oleh Al berlangsung sangat cepat (dalam hitungan menit), sementara fiksasinya oleh Fe berlangsung lambat (beberapa bulan) (Hesse, 1972). P yang diberikan ke tanah sawah pada mulanya akan difiksasi sebagai AlPO_4 . Seiring dengan lamanya penggenangan, kenaikan pH membebaskan P dari AlPO_4 . P yang terbebas ke dalam larutan kemudian difiksasi oleh Fe dalam bentuk FePO_4 .

Penurunan E_H mengubah bentuk $FePO_4$ menjadi $Fe_3(PO_4)_2$ yang lebih sukar larut. Pengeringan tanah setelah penggenangan kembali meningkatkan ketersediaan P tanah karena terjadinya proses oksidasi yang mengubah $Fe_3(PO_4)_2$ menjadi $FePO_4$ yang lebih larut. Proses oksidasi ini juga menurunkan pH tanah sehingga melarutkan $Al(OH)_3$ menjadi Al^{3+} yang kemudian mengikat P dalam bentuk $AlPO_4$ kembali. Namun $AlPO_4$ ($K_{sp} = 10^{-23}$) masih lebih larut dari $Fe_3(PO_4)_2$ ($K_{sp} = 10^{-36}$) sehingga P tetap menjadi lebih tersedia.

Sifat $Fe_3(PO_4)_2$ yang sangat sukar larut dapat digunakan untuk menanggulangi keracunan Fe dengan menambahkan pupuk P. Selain itu, tingkat reduksi tanah dapat dikendalikan pada tingkat yang tidak terlalu rendah dengan tidak menambahkan bahan organik yang berenergi tinggi ($C/N > 10$). Pemberian kapur atau KCl yang berlebihan dapat memperparah keracunan Fe, karena membebaskan lebih banyak Fe^{2+} ke dalam larutan melalui mekanisme pertukaran kation.

Pada sawah bukaan baru di Lampung, Sumatera Selatan, Jambi, Riau, Sumatera Barat dan Bengkulu umumnya tanaman padi mengalami keracunan besi (Zaini *et al.*, 1987). Keracunan besi dijumpai pula pada tanah sulfat masam di lahan sawah pasang surut, dan tanah mineral masam yang disawahkan yaitu yang jenis tanahnya tergolong dari ordo Oxisols dan Ultisols dan tanah aluvial yang berdrainase jelek (van Bremen dan Moorman, 1978).

Keracunan besi pada lahan sawah bukaan baru mengakibatkan produksi padi rendah atau bahkan tanaman tidak berproduksi. Pada tanah Oxisol di Sitiung Sumatera Barat penggenangan menyebabkan konsentrasi Fe dan Mn yang larut dalam air meningkat, dan terserap oleh tanaman padi yang menyebabkan keracunan. Daun padi menunjukkan klorosis. Tanaman padi fase vegetatif dapat mengalami keracunan besi, kalau kadar Fe dalam tanah lebih dari 2.000 ppm Fe (Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, 1993).

Penelitian Jugsujinda dan Patrick (1993) pada padi sawah di tanah Oxisol Sitiung setelah penggenangan selama 60 hari memperlihatkan penurunan E_H dari sekitar +460 mV hingga sekitar -217 mV. Pada saat yang sama pH tanah naik dari sekitar 5,2 menjadi 6,6. Tanaman padi pada tanah ini mengalami

keracunan Fe, Mn dan Al. Kadar unsur-unsur ini di dalam daun padi melebihi ambang batas 2.500 ppm Fe, 300 ppm Mn, dan 300 ppm Al.

Gejala keracunan besi pada tanaman padi diindikasikan adanya bintik-bintik coklat pada daun, mulai dari pucuk kemudian menyebar ke helai daun, pertumbuhan tanaman kerdil, anakan terbatas dan daun menyempit, perakaran jarang, pendek, kasar dan terselaput warna coklat atau kemerahan. Pada keracunan besi yang parah daun bagian bawah mengering dan bagian atas berwarna kuning kemerahan (Ismunadji dan Roechan, 1988). Selain itu serapan hara terhambat akibat perakaran tidak berkembang karena diselimuti besi oksida. Keracunan besi dapat menurunkan hasil padi 52-75% (Ismunadji dan Sabe, 1988).

Keracunan besi terlihat bila kadar besi dalam tanah 20–40 mg l⁻¹ (Van Breemen dan Moorman, 1978). Menurut Van Mensvoort *et al.* (1985) bila kadar hara lain sangat rendah atau dalam keadaan hara tidak seimbang, keracunan besi akan nampak bila kadar besi dalam tanah 30 mg l⁻¹.

Pada tanah sawah bukaan baru tanaman yang keracunan besi umumnya juga menunjukkan kahat unsur hara yang lain. Menurut Ottow *et al.* (1982) keracunan besi pada tanaman padi di Asia Tenggara dan Afrika terjadi karena kahat beberapa hara, dimana pH berkisar antara 3-7,2; kadar besi 290–1.000 ppm, kadar Mn tinggi dan kadar P, K, Ca, Mg dan Zn rendah. Kahat beberapa hara ini pada tanaman disebabkan rendahnya kemampuan akar menyerap hara, sehingga besi fero secara langsung diserap lebih banyak oleh tanaman. Kahat P, K, Ca dan Mg lebih mempengaruhi terjadinya keracunan besi daripada adanya kadar besi fero yang tinggi. Status kesuburan tanah yang rendah pada lahan sawah bukaan baru pada jenis tanah Ultisol di Tugumulyo, Sumatera Selatan, menyebabkan tanaman padi keracunan besi (Hartatik *et al.*, 1998).

Untuk menurunkan kelarutan besi fero maka diperlukan teknologi pencucian secara berselang (*intermitten*), ameliorasi dan pengelolaan hara yang akan dibahas di bawah.

Perubahan ketersediaan hara

Penggenangan menyebabkan adanya perubahan ketersediaan hara. Penggenangan meningkatkan ketersediaan P, N, K, Ca dapat ditukar; Fe, Mn, Si dan Mo tetapi menurunkan ketersediaan Cu dan Zn (Ponnamperuma, 1972).

Lahan untuk sawah bukaan baru umumnya mempunyai status kesuburan tanah yang rendah dan sangat rendah. Tanah-tanah di daerah Sumatera walaupun bahan induknya volkan tetapi umumnya volkan tua dengan perkembangan lanjut, oleh sebab itu miskin hara, dengan kejenuhan basa rendah bahkan sangat rendah. Kandungan bahan organik, hara N, P, K dan KTK umumnya rendah. Kecuali di Sulawesi Tengah (Lambunu) sawah irigasi mempunyai kesuburan tanah yang lebih baik, karena tanahnya berkembang dari bahan aluvium yang kaya mika (Suharta dan Sukardi, 1994).

Penggenangan pada sawah bukaan baru berpengaruh positif terhadap kesuburan tanah, karena sebagian unsur-unsur hara menjadi lebih tersedia (De Datta, 1981; Ponnamperuma, 1972 dan Adiningsih dan Sudjadi, 1983). Penggenangan pada tanah Podsolik di Sitiung meningkatkan pH H₂O dari 5-6,8 setelah 3 minggu penggenangan, dan stabil pada minggu berikutnya. Fosfor tersedia meningkat dari 2,9 menjadi 4,75 ppm P pada minggu pertama penggenangan dan mencapai maksimum 7,4 ppm pada minggu keenam, dan cenderung menurun pada minggu berikutnya. Tanpa penggenangan P tersedia berkisar pada kadar 2-2,5 ppm. Adiningsih dan Sudjadi (1983) mengemukakan bahwa peningkatan P tersedia oleh penggenangan sangat kecil dibandingkan N, K, Ca dan Mg karena umumnya tanah mineral masam yang disawahkan P tersedianya sangat rendah. Hal ini diduga adanya fiksasi Al dan Fe oksida yang cukup tinggi. Batas kritis hara P tanah terekstrak Bray 1 pada lahan sawah bukaan baru untuk tanaman padi di Tugumulyo, Musi Rawas adalah 5 ppm P, dan hasil padi maksimum dicapai pada 12 ppm P (Kasno *et al.*, 2000).

Tanah Ultisol di Indonesia cukup luas, dan sangat potensial untuk pengembangan pertanian, termasuk lahan sawah. Namun tanah ini, sering mengalami kekahatan hara P bila disawahkan berpengaruh buruk terhadap tanaman padi, yang ditandai dengan gejala seperti: pertumbuhan tanaman terhambat dan jumlah anakan produktif sedikit, beberapa bagian daun bawah mati dan yang

lainnya berwarna coklat kegelapan. Daun bagian atas menyempit, menggulung, dan tegak, akar-akarnya hitam. Dalam kondisi kahat yang sedang, daun bagian bawah kemerah-merahan dan atau kekuning-kuningan dan dasar daun coklat, tetapi daun muda berwarna hijau. Pada lahan sawah di daerah Sumber, Bandung hal ini terjadi dan disebut "*Prakeke*". Keadaan yang sama terjadi di Nagrek dan Kosambi terdapat pada kadar hara P tanaman yang rendah (Tabel 2.)

Tabel 2. Hasil analisis daun padi pada beberapa lokasi di Jawa

| Lokasi | P | K | Ca | Mg | Na | Fe | Mn | Al | SiO ₂ |
|----------------|------|------|-------------|------|------|---------------|-----|-----|------------------|
| | | | ———— % ———— | | | ———— ppm ———— | | | % |
| Nagrek | 0,09 | 2,47 | 0,46 | 0,29 | 0,24 | 1533 | 63 | 720 | 10,0 |
| Lohbener | 0,10 | 2,67 | 0,45 | 0,38 | 0,65 | 1516 | 313 | 694 | 9,8 |
| Jubleng | 0,15 | 1,79 | 0,47 | 0,49 | 2,88 | 1355 | 375 | 728 | 9,3 |
| Kosambi | 0,06 | 1,27 | 0,34 | 0,28 | 0,57 | 2590 | 575 | 789 | 11,0 |
| Sumber Bandung | 0,09 | 2,36 | 0,36 | 0,27 | 0,65 | 1183 | 575 | 459 | 9,3 |

Sumber: Tanakan dan Yoshida (1970).

Mentek atau Omo merah, atau "*Prakeke*" itu merupakan penyakit padi pada lahan sawah yang kahat hara N dan P. Tetapi ada yang berpendapat penyakit "*Mentek*" itu penyebabnya adalah virus. Penyakit tungro juga mempunyai gejala sama dengan *Mentek*. Keduanya disebut penyakit merah yang disebabkan oleh virus. Saat ini telah diketemukan varietas yang tahan terhadap penyakit merah ini baik "*Mentek*" maupun Tungro seperti IR-42, IR-66, dan Memberamo.

Ultisols umumnya mempunyai kandungan hara N, P dan K rendah, walaupun mempunyai kandungan Ca dan Mg yang cukup tinggi, tetapi tanah tersebut mempunyai erapan P yang tinggi (Tabel 3). Walaupun tanah tersebut digenangi, peningkatan ketersediaan P relatif kecil sehingga tanaman masih kahat P.

Kekahatan hara juga dijumpai pada tanah alluvial pantai yang disawahkan. Lohbener dan Jubleng Jabar, menunjukkan kekahatan hara yang diindikasikan kadar P dan K tanaman rendah, tetapi kadar besi sangat tinggi. Kadang-kadang kadar Na tinggi, kemungkinan karena dipengaruhi oleh intrusi air laut. Kekahatan hara pada tanah tersebut ditandai oleh daun bagian bawah

berwarna coklat kegelapan yang akhirnya mati, daun bagian atas hijau gelap dan menggulung. Warna daun akan menjadi kuning kecoklatan atau mempunyai bintik coklat pada daun yang menyempit.

Tabel 3. Hasil analisis tanah pada dua lokasi di Jawa Barat

| Jenis analisis | Lokasi contoh tanah | |
|---|---------------------|---------|
| | Nagrek | Kosambi |
| pH | 5,4 | 4,6 |
| KTK (me 100 g ⁻¹) | 33,4 | 13,8 |
| Kation dapat ditukar (me 100 g ⁻¹): | | |
| Ca | 12,0 | 6,5 |
| Mg | 10,5 | 5,0 |
| K | 0,8 | 0,3 |
| Na | 0,6 | 0,4 |
| C-organik (%) | 6,0 | 1,7 |
| P koefisien absorpsi | 1397 | 756 |
| Fe aktif (%) | 1,2 | 0,9 |
| Mn (%) | 292 | 357 |

Sumber: Tanaka dan Yoshida (1970)

AMELIORASI SIFAT KIMIA TANAH SAWAH BUKAAN BARU

Drainase dan pencucian

Perubahan sifat-sifat kimia tanah pada tanah marjinal yang baru disawahkan menjadi lahan sawah yang potensial di Indonesia umumnya memerlukan waktu >5 tahun, hal ini sangat tergantung pada tingkat irigasi, kandungan besi tanah, dan pengelolaan lahan oleh petani. Untuk meningkatkan produktivitas lahan sawah bukaan baru diupayakan pengairan *intermittent* dan ameliorasi.

Pengairan terputus dapat menanggulangi keracunan besi pada lahan sawah bukaan baru. Perlakuan pengairan terputus dapat mengurangi laju reduksi Fe^{+2} dan Mn^{+2} yang meracuni tanaman. Namun demikian penerapan pengairan terputus di lapangan harus hati-hati, karena selain Fe dan Mn yang tercuci, kation basa-basa seperti Ca, Mg K dan N juga ikut tercuci (Hartatik *et al.*, 1997; Widowati *et al.*, 1997). Pengairan terputus pada sawah bukaan baru Inceptisols di Muarabeliti menurunkan kadar Ca-dd, K-dd pada kondisi tanah diolah, sedangkan pada Ultisols di Tatakarya selain kedua unsur diatas juga menurunkan Mg-dd dan kejenuhan basa baik pada kondisi tanah diolah maupun tidak (Nursyamsi *et al.*, 2000).

Pengeringan selama 6 dan 9 hari pada 30 hari setelah tanam dapat meningkatkan hasil gabah sebesar dua dan tiga kali lipat dibandingkan tanpa pengeringan. Pencucian lahan dapat mengurangi pengaruh keracunan besi. Pada tanah Podsolik di Setianegara dan Banjit, Lampung Tengah serta Sitiung I, Sumatera Barat, perlakuan pencucian dapat meningkatkan hasil padi 5, 9 dan 2 kali dibandingkan tanpa pencucian dan tanpa pemupukan, hal ini disebabkan bahwa pencucian dapat menurunkan kelarutan besi fero dan memperbaiki aerasi tanah, sehingga ketersediaan beberapa unsur hara meningkat dan perkembangan perakaran menjadi lebih baik, namun demikian pencucian diupayakan supaya tidak banyak mencuci beberapa unsur hara yang dibutuhkan tanaman (Tabel 4).

Ameliorasi pada lahan sawah bukaan baru Harapan Masa Tapin, Kalimantan Selatan dengan pemberian kapur meningkatkan hasil gabah kering walaupun tidak berbeda nyata dibandingkan dolomit, kapur super fosfat dan kaptan fosfatan (Tabel 5). Takaran 500 kg ha⁻¹ nyata meningkatkan hasil gabah

kering, tetapi peningkatan takaran tidak nyata meningkatkan hasil gabah (Widowati *et al.*, 1999). Pada tanah Oxisol kebutuhan kapur cukup tinggi karena kadar besi dan Al tinggi maka dibutuhkan kaptan atau dolomit $>2 \text{ t ha}^{-1}$, sehingga takaran di bawah angka itu tidak akan berpengaruh nyata.

Tabel 4. Pengaruh pencucian lahan terhadap produksi gabah pada tanah Podsolik Setianegara dan Banjit, Lampung Tengah serta Sitiung 1, Sumatera Barat

| Perlakuan | Berat kering gabah | | | | | |
|------------------|---------------------------|------|----------------------|------|-------------------------|------|
| | Setianegara ¹⁾ | | Banjit ¹⁾ | | Sitiung 1 ²⁾ | |
| | 0 | NPK | 0 | NPK | 0 | NPK |
| | g pot ⁻¹ | | | | | |
| Tanpa pencucian | 0,6 | 24,5 | 0,4 | 21,9 | 1,3 | - |
| Dengan pencucian | 2,9 | 20,1 | 3,4 | 23,0 | 2,2 | 69,2 |

Keterangan: Rataan = rata-rata dari beberapa perlakuan.

Sumber: (1) Adiningsih dan Sudjadi (1983); (2) Taher dan Misran (1983)

Tabel 5. Pengaruh bahan amelioran terhadap hasil gabah kering (t ha^{-1}) di lahan sawah bukaan baru Oxisols di Harapan Masa-Tapin Kalimantan Selatan

| Perlakuan Jenis amelioran | Takaran amelioran | | | | | | | | Rataan | |
|------------------------------|-------------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|--------|--------|
| | 0 | | 500 | | 1.000 | | 1.500 | | MH | MK |
| | MH 97/98 | MK 98 | MH 97/98 | MK 98 | MH 97/98 | MK 98 | MH 97/98 | MK 98 | 97/98 | 98 |
| Kaptan | 3,88 | 3,47 | 3,94 | 3,73 | 4,17 | 3,55 | 4,54 | 3,52 | 4,13 | 3,57 A |
| Dolomit | 3,59 | 2,71 | 4,06 | 3,47 | 4,67 | 3,57 | 4,51 | 3,84 | 4,21 | 3,39 A |
| KSP | 4,24 | 3,03 | 4,38 | 3,59 | 4,68 | 3,27 | 4,91 | 3,30 | 4,56 | 3,29 A |
| Kapur- fosfat | 3,35 | 3,05 | 3,58 | 3,52 | 4,04 | 3,57 | 4,56 | 3,54 | 3,88 | 3,42 A |
| Rataan | 3,77 | 3,06 a | 3,99 | 3,58 b | 4,39 | 3,48 b | 4,63 | 3,55 b | 4,19 | 3,42 |

Sumber: Widowati *et al.* (1999)

Ameliorasi

Pada tanah sawah bukaan baru yang menghadapi kendala kesuburan tanah yang rendah, harus dilakukan tindakan perbaikan tanah atau sering disebut dengan ameliorasi agar kondisi tanah optimal untuk mendukung pertumbuhan tanaman padi. Pemberian pupuk anorganik seperti N, P dan K dapat dilakukan setelah tindakan ameliorasi.

Pemberian kapur dan pupuk kandang dapat menurunkan keracunan besi dan meningkatkan hasil padi. Pemberian kapur 1 ton dan pupuk kandang 5 t ha⁻¹ serta pemupukan NPK meningkatkan hasil padi 1-2 t ha⁻¹ dibandingkan kontrol (Tabel 6).

Tabel 6. Ameliorasi kapur dan pupuk kandang serta pemupukan terhadap hasil padi di lahan sawah bukaan baru, Bangkinang, Riau

| Perlakuan | Berat kering gabah | | | |
|--|--------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | Uwai ¹⁾ | Air Tiris ²⁾ | Air Tiris ³⁾ | Air Tiris ⁴⁾ |
| | t ha ⁻¹ | | | |
| Kontrol | 1,68 | 3,03 | 3,04 | 3,03 |
| NPK | 3,23 | 3,95 | 4,90 | 4,79 |
| NPK + 1 t CaCO ₃ ha ⁻¹ | 4,10 | 4,91 | 5,80 | 5,84 |
| NPK + 5 t pupuk kandang ha ⁻¹ | 3,93 | 4,92 | 5,40 | 5,54 |

Keterangan: (1) Pemupukan 45 kg N dan P₂O₅ serta 60 kg K₂O ha⁻¹; (2) Rata-rata dari pemupukan setengah dan optimal (90 kg N dan P₂O₅ serta 60 kg K₂O ha⁻¹); (3) Rata-rata dari beberapa varietas dengan pemupukan 90 kg N dan P₂O₅ serta 60 kg K₂O ha⁻¹; dan (4) Pemupukan 90 kg N, 45 kg P₂O₅, dan 45 kg K₂O ha⁻¹

Sumber: Jalid dan Hirwan (1987); Burbey dan Yusril (1989).

Kendala utama pada lahan sawah bukaan baru Ultisols, Bangun Rejo, Lampung yaitu rendahnya bahan organik, kahat Ca, Mg, dan S. Oleh karena untuk meningkatkan produktivitas lahan diperlukan pemberian bahan organik seperti jerami atau pupuk kandang serta pemupukan. Pemberian pupuk kandang meningkatkan hasil gabah kering 22,5 % yaitu sebesar 5,7 t ha⁻¹.

Pemberian pupuk kandang 20 t ha⁻¹ yang diberikan pada saat penggenangan meningkatkan P tersedia lebih tinggi dibandingkan pemberian jerami, peningkatan P terjadi melalui ikatan kompleks dengan besi, sehingga

mengurangi aktivitas besi dalam menyerap P. Respon tanaman padi terhadap kombinasi perlakuan fosfat alam dan pencucian serta residunya lebih baik dibandingkan kombinasi fosfat alam dan pupuk kandang (Hanum, 2004).

Untuk meningkatkan produktivitas lahan sawah mineral masam bukaan baru diperlukan teknologi pengendalian drainase dan pencucian untuk menurunkan konsentrasi besi fero, ameliorasi dengan bahan organik, kapur/dolomit serta pemupukan untuk meningkatkan status hara tanah dan mencukupi kebutuhan hara tanaman.

PENUTUP

Penggenangan pada lahan sawah bukaan baru akan menyebabkan perubahan sifat-sifat kimia tanah. Sebagian perubahan tersebut seperti peningkatan pH pada tanah masam dan penurunan potensial redoks (E_H), peningkatan ketersediaan hara N, P, K dan Ca yang menguntungkan bagi tanaman, sedangkan sebagian lagi seperti peningkatan kelarutan besi fero merugikan bagi pertumbuhan tanaman.

Pada umumnya pembukaan lahan sawah bukaan baru menggunakan tanah mineral masam yang berbau induk tufa masam yang miskin akan unsur hara dan mengandung oksida besi tinggi yang berpotensi memicu keracunan besi bagi tanaman padi. Untuk meningkatkan produktivitas lahan sawah bukaan baru tersebut dapat dilakukan perbaikan lingkungan tumbuh tanaman dengan teknologi irigasi *intermittent* untuk mencuci kadar Fe yang tinggi, ameliorasi seperti pemberian kapur/dolomit, bahan organik. Selanjutnya perlu dilakukan pemupukan urea, SP-36 dan KCl untuk meningkatkan status hara dalam tanah dan mencukupi kebutuhan hara tanaman.

Ameliorasi bahan organik pada tanah sawah dapat memperbaiki kesuburan tanah, meningkatkan ketersediaan hara dan membantu menetralkan keracunan Fe. Namun demikian, perlu digunakan bahan organik yang matang (C/N ~10) agar tidak menurunkan E_H terlalu rendah (< 0 mV). E_H terlalu rendah dapat mengakibatkan keracunan besi dan emisi gas metan. Pemberian kapur diperlukan bila pH tanah awal < 4 . Selain meningkatkan pH tanah awal,

pengapuran juga mempercepat pencucian besi terlarut dan memberikan hara kalsium (kalsit) atau kalsium dan magnesium (dolomit). P-alam sebaiknya digunakan sebagai pupuk sumber hara P, karena selain menyuplai hara P dapat membantu menetralkan keracunan Fe dan Al, dan meningkatkan pH tanah awal sebelum penggenangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiningsih, J.S., dan M. Sudjadi. 1983. Pengaruh penggenangan dan pemupukan terhadap tanah Podsolik Lampung Tengah. *Pemberitaan Penelitian Tanah dan Pupuk* 2: 1-8.
- Bohn, H.L. McNeal, and G.A. O'connor. 1979. *Soil chemistry*. A Wiley Inter Sci. Publ. John Wiley and Sons. New York.
- Breemen, Van dan F.R. Moorman. 1978. Iron-toxic soils. p. 781-797. *In Soil and Rice*. IRRI, Los Banos, Philippines.
- Burbey and Yusrial. 1989. Pemupukan N, P, K, Kapur, dan Hara Mikro serta Bahan Organik pada Padi Sawah Keracunan Besi. Laporan Hasil Penelitian Balittan Sukarami, MT 1988/1989.
- De Datta, S.K. 1981. *Principles and practices of rice production*. The International Rice Research Institute Los Banos. The Philippines. John Wiley & Sons 618 p.
- Dixon, J.B. dan S.B. Weed, 1977. *Minerals in soil environment*. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, USA. 948 p.
- Gambrell, R.P. dan W.H. Patrick Jr. 1978. Chemical and microbiological properties of anaerobic soils and sediments. pp. 375-423. *In Plant Life in Anaerobic Environment*. D.D. Hook dan R.M.M. Crawford, *Eds.*, Ann Arbor Sci. Pub. Inc. Mich.
- Hanum, H. 2004. Peningkatan Produktivitas Tanah Mineral Masam yang Baru Disawahkan Berkaitan dengan P Tersedia melalui Pemberian Bahan Organik, Fosfat Alam dan Pencucian Besi. Tesis Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor.

- Hartatik, W., L. Retno Widowati, dan Sulaeman. 1997. Pengaruh potensial redoks terhadap ketersediaan hara pada tanaman padi sawah. hlm. 19-32 *dalam* Prosiding Pertemuan Pembahasan dan Komunikasi Hasil Penelitian Tanah dan Agroklimat: Bidang Kimia dan Biologi Tanah. Cisarua, Bogor, 4-6 Maret 1997. Puslitbangtanak, Bogor.
- Hartatik, W. 1998. Erapan Fosfat, Kelarutan Hara Makro dan Mikro serta Pengaruh Besi terhadap Padi Sawah. Tesis Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Hesse, P. R. 1972. A textbook of soil chemical analysis. Chemical Publishing Co., Inc. New York. 520 p.
- Ismunaji, dan W. Sabe. 1988. Pengaruh fosfat dan hara lain terhadap keracunan besi pada padi sawah. Balai Penelitian Tanaman Pangan Bogor.
- _____, dan S. Roechan. 1988. Hara mineral tanaman padi. hlm. 231-270 *dalam* Ismunadji, M., S. Partohardjom, M. Syam, A. Widjono (*Eds.*). Padi. Badan Penelitian Tanaman Pangan, Bogor.
- Jugsujinda, A. dan W.H. Patrick, Jr. 1993. Evaluation of toxic conditions associated with orange symptoms of rice in a flooded Oxisol in Sumatra, Indonesia. *Plant and Soil*. Kluwer Academic Publishers, Netherlands 152: 237-243.
- Kasno, A., Sulaeman, dan Mulyadi. 1999. Pengaruh pemupukan dan pengairan terhadap Eh, pH, ketersediaan P dan Fe, serta hasil padi pada tanah sawah bukaan baru. *Jurnal Tanah dan Iklim* 17: 72-81.
- _____, Sulaeman, dan Sutisni Dwiningsih. 2000. Penentuan ketersediaan fosfat tanah menggunakan kurva erapan pada sawah bukaan baru. *Jurnal Tanah dan Iklim* 18: 23-28.
- Levy, G. and F. Toutain. 1982. Aeration and redox phenomena in soils. p. 335-366. *In* Bonneau, M. and B. Soucier (*Eds.*). *Constituents and Properties of Soils*. Academic Press. London.

- Mensvoort, M.E. Van, R.S. Lantin, R. Brikman, and Van Breemen. 1985. Toxicities of wetland soils. p. 123-138. *In* Wetland Soils: Characterization, Classification, and Utilization. IRRI.
- Nursyamsi, D., D. Setyorini, dan J. Sri Adiningsih. 1996. Pengelolaan hara dan pengaturan drainase untuk menanggulangi kendala produktivitas sawah baru. hlm. 113-128 *dalam* Prosiding Pertemuan Pembahasan dan Komunikasi Hasil Penelitian Tanah dan Agroklimat. Buku III Bidang Kesuburan dan Produktivitas Tanah. Cisarua, Bogor, 26-28 September 1995. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Nursyamsi, D., L.R. Widowati, D. Setyorini, dan J. Sri Adiningsih. 2000. Pengaruh pengolahan tanah, pengairan terputus, dan pemupukan terhadap produktivitas lahan sawah bukaan baru pada Inceptisols dan Ultisols Muarabeliti dan Tatakarya. *Jurnal Tanah dan Iklim* 18: 29-38.
- Ottow, J.C.G., G. Benckiser, and I. Watanabe. 1982. Iron J toxicity of rice as a multiple nutritional soil stres. *Trop. Agric. Res. Ser. No.* 15.
- Ponnamperuma, F.N. 1972. The chemistry of submerged soils. *Adv. Agron.* 24: 29-96. IRRI. Los Banos, Philippines.
- Prasetyo, B.H., Sulaeman, dan N. Sri Mulyani. 1997. Red-Yellow soils from Kotabumi, Lampung: their characteristics, classification, and utilization. *Indonesian Journal of Crop Science* 12 (1 & 2): 37-45. AARD.
- Prasetyo, B.H. 2006. Evaluasi tanah sawah bukaan baru di Daerah Lubuk Linggau, Sumatera Selatan. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian Indonesia* 8(1): 31-34. Universitas Bengkulu.
- Suharta, N, Alkasuma, dan H. Suhendra. 1994. Karakteristik tanah dan penyebarannya di daerah irigasi Air Kasie II, Lubuk Linggau, Sumatera Selatan. hlm. 15-30 *dalam* Karama, A.S. (*Eds.*). Risalah Hasil Penelitian Sumber daya Lahan untuk Pengembangan Sawah Irigasi di Sumatera. Puslittanak, Bogor.

- Sulaeman, Eviati, dan J. Sri Adiningsih. 1997. Pengaruh Eh dan pH terhadap sifat erapan fosfat, kelarutan besi, dan hara lain pada tanah Hapludox Lampung. hlm. 1-18 *dalam* Prosiding Pertemuan Pembahasan dan Komunikasi Hasil Penelitian Tanah dan Agroklimat. Bidang Kimia dan Biologi Tanah. Cisarua, Bogor 4-6 Maret 1997. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Taher, A. Dan Misran. 1984. Pengendalian keracunan besi V/pada sawah bukaan baru. *Pemberitaan Penelitian Sukarami* 4: 3-6.
- Tanaka, A. and S.Yoshida. 1970. Nutritional disorders of the rice plant in Asia. *Tech. Bul.* 10. The International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines.
- Widjaja-Adhi, I P.G. 1984. Pengapuran tanah masam untuk kedelai. Dalam Makalah Rapat Teknis Penelitian dan Pengembangan Kedelai. Bogor, 2-4 Oktober 1984.
- Widowati, L.R., D. Nursyamsi, dan J. Sri Adiningsih. 1997. Perubahan sifat kimia tanah dan pertumbuhan tanaman padi pada lahan sawah baru di rumah kaca. *Jurnal Tanah dan Iklim* 15: 50-60.
- Yusuf, A., S. Djakamihardja, G. Satari, dan S. Djakasutami. 1990. Pengaruh pH dan Eh terhadap kelarutan Fe, Al dan Mn pada lahan sawah bukaan baru jenis Oxisol Sitiung. hlm. 237-269 *dalam* Prosiding Pengelolaan Sawah Bukaan Baru Menunjang Swasembada Pangan dan Program Transmigrasi: Prospek dan Masalah. Padang, 17-18 September 1990. Fakultas Pertanian Universitas Ekasakti dan Balai Penelitian Tanaman Pangan, Sukarami.
- Yusuf, A. 1992. Pengaruh Redoks Potensial dan pH terhadap Ketersediaan Fe, Al, dan Mn pada Tanah Sawah Bukaan Baru jenis Oxisols di Daerah Transmigrasi Sitiung, Sumatera Barat. *Desertasi Universitas Padjadjaran Bandung*. 223 hlm.
- Zaini, Z., Burbey, N. Jalid, dan A. Kaher. 1987. Teknologi pengendalian keracunan besi pada sawah bukaan baru. hlm. 16-21 *dalam* Risalah Ahli Teknologi. *Balittan Sukarami* 14-15 September 1987.

V. REKOMENDASI PEMUPUKAN PADI DI LAHAN SAWAH BUKAAN BARU

Diah Setyorini, D. A. Suriadikarta, dan Nurjaya

PENDAHULUAN

Pengembangan lahan sawah bukaan baru ke luar Jawa pada umumnya menempati tanah marginal seperti Ultisols, Oxisols, Inceptisols, dan Histosols. Kendala pengembangan lahan sawah irigasi baru seluas sekitar 10 juta ha tersebut antara lain topografi/lereng curam dan kesuburan tanah rendah (Hikmatullah *et al.*, 2002). Rendahnya tingkat kesuburan tanah-tanah ini diakibatkan oleh pencucian hara yang intensif sejalan dengan tingginya curah hujan serta sifat bahan induk tanah yang miskin cadangan mineral.

Kesuburan alami tanah Ultisol tergantung kesuburan lapisan olah tanah (yang mengandung bahan organik) dan mempunyai sifat kimia tanah antara lain kemasaman tanah tinggi (pH rendah) yang berkorelasi erat dengan tingginya kadar Fe dan Al di dalam tanah, kahat unsur hara makro khususnya N, P, Ca, Mg serta bahan organik rendah, namun karena penampang tanah cukup dalam dan kadar liat tinggi, maka sesuai untuk pengembangan lahan sawah irigasi. Tetapi dengan tingkat kesuburan tanah yang rendah, miskin unsur hara makro dan mikro maka terjadi secara kimia terjadi ketidakseimbangan hara dalam tanah. Keadaan ini menyebabkan tingkat kesuburan dan produktivitas tanah menjadi rendah, sehingga pertumbuhan tanaman menjadi terganggu karena kebutuhan hara tanaman tidak terpenuhi. Padahal kadar dan komposisi hara dalam tanaman merupakan hasil metabolisme tanaman, sedangkan metabolisme sebagai hasil hasil interaksi faktor genetik. Komposisi hara tersebut pada akhirnya akan menentukan produksi dan kualitas hasil.

Sifat-sifat ini juga dijumpai pada Oxisols, namun nilai kapasitas tukar kation (KTK) liat tanah sangat rendah (<12 me 100 g⁻¹ liat). Tanah Inceptisol mempunyai tingkat kesuburan tanah lebih baik dibandingkan Ultisols dan Oxisols, terutama pada tanah yang terbentuk dari endapan aluvium dan vulkan (Hikmatullah *et al.*, 2002). Pada Histosols atau tanah gambut, tingkat kesuburan tanahnya ditentukan oleh ada tidaknya pengkayaan unsur hara yang terjadi. Pada

gambut pedalaman yang terletak jauh dari hulu sungai, pengkayaan unsur hara tidak terjadi dan justru mengalami pencucian hara yang dikenal dengan gambut oligotropik dengan kadar abu <10%. Sebaliknya gambut pada fisiografi dataran banjir, rawa belakang pantai dan sungai pada umumnya mendapat pengkayaan unsur hara dari air limpasan atau rembesan air laut sehingga lebih subur, dan disebut gambut eutrofik (kadar abu >10%) (Widjaja-Adhi, 1986).

Rendahnya tingkat produktivitas tanah-tanah sawah bukaan baru di luar Jawa dapat ditingkatkan dengan pengelolaan hara terpadu melalui penambahan pupuk anorganik seperti N, P, K dan ameliorasi dengan kapur dan bahan organik (pupuk kandang, sisa tanaman, pupuk hijau, dan lain-lain), pengolahan tanah, serta pengaturan tata air (Kasno *et al.*, 1999, Nursyamsi *et al.*, 2000). Jenis dan jumlah pupuk yang diberikan ditentukan berdasarkan kebutuhan hara tanaman dan tingkat kesuburan tanah. Melalui pemberian jumlah dan jenis pupuk yang tepat, pemupukan menjadi lebih efisien dan menguntungkan.

Pada lahan sawah bukaan baru, rekomendasi pemupukan diharapkan dapat mengacu pada Peraturan Menteri Pertanian No.40/Permentan/OT.140/1/2007 dengan menitik beratkan masalah perbaikan kesuburan tanah dengan penambahan bahan-bahan amelioran sebelum program pemupukan dilakukan. Uji tanah dan analisis tanaman sebagai dasar penyusunan rekomendasi pemupukan berimbang sangat berperan untuk memperbaiki rekomendasi pupuk. Selain itu perlu diupayakan memenuhi prinsip enam tepat (tempat, jumlah, jenis, harga, waktu dan cara pemupukan) agar produktivitas tanah dan tanaman dapat optimal (Setyorini *et al.*, 2004).

Perubahan kondisi tanah kering menjadi tanah sawah bukaan baru membawa konsekuensi perubahan sifat fisik, kimia, dan biologi tanah yang tidak kecil. Ditinjau dari sisi kesuburan tanah, penggenangan atau penyawahan berakibat pada perubahan senyawa-senyawa kimia akibat adanya transformasi biogeokimia yang dilakukan oleh mikroba. Salah satu kejadian penting yang sering terjadi pada tanah sawah bukaan baru adalah keracunan besi fero (Fe^{2+}). Senyawa besi yang pada kondisi tanah kering berada pada tingkat oksidatif (feri, Fe^{3+}) akan tereduksi menjadi besi fero (Fe^{2+}) yang beracun, namun disisi lain ia melepaskan anion fosfat yang semula terikat dalam bentuk Fe-P ke dalam larutan

tanah (Sulaeman *et al.*, 1997). Demikian pula yang terjadi pada tanah organik atau Histosols seperti gambut dan sulfat masam yang bereaksi masam, pembentukan asam-asam organik, besi fero dan sulfat yang tinggi dapat mengakibatkan pertumbuhan tanaman padi terhambat. Teknologi pengelolaan air melalui sistem drainase berselang (*intermittent drainage*) dilaporkan dalam menurunkan kadar besi fero yang beracun. Pemupukan anorganik seperti N, P, K dilakukan setelah kondisi tanah untuk pertumbuhan tanaman diperbaiki melalui tindakan ameliorasi.

5.2. Status Hara Tanah Sawah Bukaan Baru

Lahan sawah bukaan baru pada umumnya kahat unsur hara makro N, P, K, Ca, Mg serta kandungan bahan organik tanah rendah. Defisiensi nitrogen (N) pada tanaman lebih sering dijumpai dari pada unsur P, K dan lainnya. Namun demikian uji hara N sulit dilakukan dan kurang berkembang dibandingkan uji P dan K karena: (1) tingkat atau laju dekomposisi bahan organik oleh mikroba sangat tergantung pada suhu, kelembapan, aerasi, jenis bahan organik, dan pH; (2) bentuk N-anorganik dalam tanah merupakan hasil dari proses pencucian, fiksasi, denitrifikasi, dan lainnya. Kondisi tersebut mempersulit pendugaan tentang kapan dan berapa jumlah N yang dapat tersedia (Dahnke and Johnson, 1990). Sawah mineral masam bukaan baru selain kahat unsur hara makro primer (N, P, K) dan hara sekunder (Ca, Mg), juga unsur mikro terutama Zn, Mn dan Cu (Suriadikarta, *et al.*, 2004), sedangkan unsur S sangat bervariasi karena S bisa berasal dan sangat erat hubungannya dengan air irigasi dan hujan. Untuk mengatasi kahat hara makro dan mikro maka telah dicoba penelitian pemberian hara terpadu antara pupuk anorganik, dan jerami, pupuk kandang, dan pupuk hara mikro Zn.

Peta status hara P dan K tanah sawah, merupakan *output* atau hasil dari penelitian uji tanah P dan K di lahan sawah yang telah dilakukan sejak tahun 1970 meliputi tahapan penjajagan hara, studi korelasi, studi kalibrasi hingga penyusunan rekomendasi pemupukan. Peta ini dibuat di lahan sawah irigasi yang telah dikelola secara intensif maupun semi-intensif. Secara agregat disampaikan hasil penelitian korelasi uji P dan K yang telah dilakukan oleh Pusat Penelitian

dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat selama sekitar 30 tahun (1970-2000) terakhir menunjukkan bahwa untuk tanah-tanah sawah intensifikasi di Jawa dan luar Jawa, penetapan status P dan K tanah dengan pengekstrak HCl 25% memberikan korelasi tertinggi dengan hasil tanaman padi sawah dibandingkan pengekstrak lainnya (Setyorini *et al.*, 2003; Sofyan *et al.*, 2002). Oleh karena itu, pengekstrak HCl 25% digunakan sebagai acuan penetapan status P dan K tanah sawah.

Status hara tanah sawah terbagi menjadi tiga kelas yaitu rendah (R), sedang (S) dan tinggi (T), sedangkan indikator warna yang digunakan dalam peta adalah merah untuk rendah, kuning untuk sedang dan hijau untuk tinggi (Tabel 1) (Balai Penelitian Tanah, 2003). Setiap kelas status hara memberikan informasi khusus tentang respon hasil yang diharapkan (Rachim, 1995), yaitu:

1. Kelas status hara rendah (R) mengindikasikan kebutuhan pupuk banyak, respon pemupukan P atau K tinggi. Tanpa pupuk gejala kahat pasti muncul, pertumbuhan tanaman tanpa pupuk tidak normal, kemungkinan tanaman mati kecil meskipun tidak berbuah.
2. Kelas status hara sedang (S) menunjukkan kebutuhan hara sedang, respon pemupukan P atau K sedang. Tanpa pupuk pertumbuhan tanaman kurang normal, gejala kahat tidak muncul, dan produksi rendah.
3. Kelas status hara tinggi (T) tidak memerlukan pupuk, respon pemupukan rendah, kebutuhan pupuk hanya untuk pemeliharaan.

Tabel 1. Kelas status hara P dan K tanah sawah serta rekomendasi pemupukannya

| Kelas status hara | Kadar hara terekstrak HCl 25% | |
|-------------------|--|---|
| | P | K |
| | mg P ₂ O ₅ 100 g ⁻¹ | mg K ₂ O 100 g ⁻¹ |
| Rendah | < 20 | < 10 |
| Sedang | 20 – 40 | 10 – 20 |
| Tinggi | > 40 | > 20 |

Namun demikian, lahan sawah yang belum terpetakan masih cukup luas sehingga untuk tujuan pemberian takaran rekomendasi pupuk N, P, K telah dikembangkan suatu alat yang bernama perangkat uji tanah sawah (PUTS) yang dapat digunakan mengukur status hara P dan K tanah serta rekomendasi pupuknya untuk padi sawah.

Nitrogen (N)

Nitrogen (N) merupakan unsur terpenting bagi tanaman padi dan berperan dalam pertumbuhan vegetatif tanaman. Unsur untuk tanaman padi mempunyai fungsi sebagai berikut: (1) memberikan warna hijau tua pada daun; (2) mempercepat pertumbuhan tanaman; (3) meningkatkan ukuran daun dan butir; (4) meningkatkan jumlah butir/ ranting (*panicle*); (5) meningkatkan jumlah butir isi/*panicle*; dan (6) meningkatkan kadar protein dalam biji (De Datta, 1981). Selanjutnya gejala kekurangan/defisiensi N dalam tanaman padi menunjukkan hal-hal sebagai berikut: (1) pertumbuhan tanaman terhambat; (2) terbatasnya jumlah anakan, daun menjadi pendek dan menyempit; dan (3) tegak dan warna daun hijau kekuningan, dan akhirnya daun tua menjadi mati.

Nitrogen di dalam tanah antara lain berasal dari bahan organik, hasil pengikatan N dari udara oleh mikroba, pupuk, dan air hujan. Nitrogen yang dikandung tanah pada umumnya rendah, sehingga harus selalu ditambahkan dalam bentuk pupuk atau sumber lainnya pada setiap awal pertanaman. Selain kadarnya rendah, N di dalam tanah mempunyai sifat yang dinamis (mudah berubah dari satu bentuk ke bentuk lain seperti NH_4 menjadi NO_3 , NO , N_2O dan N_2) dan mudah hilang menguap dan tercuci bersama air drainase. Berdasarkan total serapan N tanaman padi, diketahui bahwa sekitar 60% N yang diserap berasal dari N tanah sedangkan sisanya 40% dari pupuk N (Hasegawa, 1992).

Status N yang disawahkan pada umumnya masih lebih tinggi dibandingkan tanah kering karena adanya akumulasi bahan organik yang lebih tinggi pada tanah sawah (Kyuma, 2004). Namun karena sifatnya yang sangat *mobile* maka status N tanah sawah di Indonesia dikelompokkan berdasarkan tingkat produktivitas tanaman padi. Daerah-daerah yang mempunyai tingkat

produktivitas padi sawah tinggi ($> 6 \text{ t ha}^{-1}$) tanahnya dikategorikan mempunyai status N tanah tinggi; sedang ($5\text{-}6 \text{ t ha}^{-1}$) dan rendah ($< 5 \text{ t ha}^{-1}$) (Anonim, 2006).

Tanah sawah bukaan baru yang terletak pada tanah-tanah marjinal yang tersebar pada tanah Ultisol, Oxisol, dan Histosol pada umumnya mempunyai status N tanah rendah. Untuk meningkatkan produktivitas tanaman padi berpotensi hasil tinggi, maka diperlukan penambahan pupuk N dalam jumlah yang relatif tinggi. Namun apabila yang ditanam adalah padi varietas lokal yang mempunyai tingkat produktivitas rendah ($< 4 \text{ t ha}^{-1}$), maka penambahan pupuk tidak terlalu tinggi.

Fosfor (P)

Fosfor dalam tanaman padi berperan dalam memberikan dan mengangkut energi untuk semua proses biokimia, yaitu: (1) merangsang pertumbuhan akar, pembungaan dan pemasakan biji terutama di daerah iklim dingin dan (2) menambah jumlah anakan, perkembangan biji yang baik, dan meningkatkan kualitas gabah, sebab P berada dalam butir padi (De Datta, 1981). Gejala kekurangan/defisiensi P dalam tanaman padi adalah: (1) pertumbuhan tanaman kurang baik dan jumlah anakan sedikit dan (2) daun menyempit, pendek, tegak, dan berwarna hijau tua kotor, daun muda lebih sehat dibandingkan daun tua, tetapi kemudian berubah coklat kemudian mati. Selanjutnya daun berwarna kemerahan atau keunguan dan cenderung menghasilkan pigmen antocyanin.

Fosfor (P) dalam tanah terdiri atas P-anorganik dan P-organik yang berasal dari bahan organik dan mineral yang mengandung P (apatit). Unsur P dalam tanah ketersediaannya (*availability*) bagi tanaman rendah karena P terikat oleh liat, bahan organik, serta oksida Fe dan Al pada tanah yang pH-nya rendah (tanah masam dengan pH 4-5,5) dan oleh Ca dan Mg pada tanah yang pH-nya tinggi (tanah netral dan alkalin dengan pH 7-8) (Setyorini, 2001). Tanah mineral yang disawahkan pada umumnya mempunyai pH netral antara 5,5-6,5 sehingga ketersediaan P tidak menjadi masalah. Akibat pemupukan P dalam jumlah banyak dan kontinyu di tanah sawah intensifikasi selama bertahun-tahun, telah terjadi penimbunan (akumulasi) P di dalam tanah. Pada tanah sawah bukaan baru yang ber-pH rendah pada umumnya status P tanah masih rendah.

Status hara P tanah sawah telah dipetakan edisi pertamanya dicetak tahun 1970 dan selanjutnya telah mengalami beberapa kali revisi dan peta ini sangat berguna untuk perencanaan dan arahan distribusi penyaluran pupuk secara nasional di setiap provinsi. Provinsi tersebut meliputi seluruh provinsi di Jawa, Sulawesi, dan Sumatera, serta Kalimantan Selatan, Bali, dan Lombok.

Pembuatan peta status hara lahan sawah telah dimulai pada tahun 1970 oleh Lembaga Penelitian Tanah dengan diterbitkannya peta sementara daerah sawah memerlukan fosfat Jawa dan Madura edisi I berskala 1:250.000. Pada tahun 1974 peta ini telah diperbaiki dengan dikeluarkannya peta fosfat Jawa dan Madura edisi II. Akhirnya pada tahun 1988 peta ini disempurnakan lagi dengan dibuatnya peta keperluan fosfat lahan sawah Provinsi Jawa Barat, Jawa Tengah dan Jawa Timur skala 1:250.000 edisi III yang merupakan peta penyempurnaan keperluan fosfat tahun 1974 (Sediyarso *et al.*, 1989). Penyempurnaan terakhir dilakukan pada tahun 2000 dan telah dipublikasi menjadi peta status hara P tanah sawah skala 1:250.000 untuk 18 provinsi di Indonesia (Sofyan *et al.*, 2000) dan selanjutnya mengalami pemekaran menjadi 21 provinsi (Anonim, 2007). Peta ini membagi status P tanah menjadi tiga kelas berdasarkan kadar P_2O_5 ekstrak HCl 25% yaitu tanah berstatus P tinggi ($> 40 \text{ mg } P_2O_5 \text{ } 100 \text{ g}^{-1}$), berstatus P sedang ($20\text{-}40 \text{ mg } P_2O_5 \text{ } 100 \text{ g}^{-1}$) dan P rendah ($< 20 \text{ mg } P_2O_5 \text{ } 100 \text{ g}^{-1}$) (Sediyarso *et al.*, 1990).

Berdasarkan peta status hara P tanah sawah di Indonesia skala 1:250.000 yang tersebar di 21 provinsi seluas 7,5 juta ha, dapat ditunjukkan bahwa sebagian besar lahan sawah berstatus hara P sedang (42%) dan tinggi (41%) dan hanya sebagian kecil berstatus hara P rendah (17%). Hasil evaluasi pemupukan P dan K pada lahan sawah intensifikasi di Sumatera Barat, Sumatera Selatan dan Kalimantan Selatan menunjukkan bahwa sebagian lahan sawah sudah tidak respon terhadap pemupukan P dan K (Setyorini *et al.* 1994). Sebaran lahan sawah berstatus P rendah yang diharapkan masih respon terhadap pemupukan P dan K antara lain berada di Provinsi Sumatera Selatan, Riau, Banten, Kalimantan Selatan dan Sulawesi Tenggara (Tabel 2) yang merupakan daerah pengembangan lahan sawah bukaan baru.

Tabel 2. Luas lahan sawah berdasarkan peta status P lahan sawah skala 1:250.000

| Provinsi | Status hara P | | | Jumlah |
|-----------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | Rendah | Sedang | Tinggi | |
| | ha | | | |
| 1. Jawa Barat | 113.971 | 428.112 | 472.897 | 1.014.980 |
| 2. Banten | 121.650 | 26.584 | 50.151 | 198.385 |
| 3. Jawa Tengah | 107.694 | 611.786 | 397.120 | 1.116.660 |
| 4. DI Yogyakarta | 15.879 | 46.865 | 0 | 62.744 |
| 5. Jawa Timur | 183.500 | 544.945 | 531.475 | 1.259.920 |
| 6. Lampung | 17.707 | 47.453 | 147.922 | 213.082 |
| 7. Sumatera Selatan | 145.570 | 251.981 | 32.315 | 429.866 |
| 8. Sumatera Barat | 37.389 | 95.983 | 91.793 | 225.165 |
| 9. Kalimantan Selatan | 145.829 | 164.206 | 155.186 | 465.221 |
| 10. Sulawesi Selatan | 115.448 | 175.456 | 290.116 | 581.020 |
| 11. Bali | 1.996 | 15.521 | 74.054 | 91.571 |
| 12. NTB (P. Lombok) | - | 11.652 | 110.833 | 122.485 |
| 13. Nangroe Aceh Darussalam | 48.224 | 128.116 | 120.818 | 297.158 |
| 14. Sumatera Utara | 53.440 | 301.598 | 175.425 | 530.463 |
| 15. Jambi | 30.470 | 118.180 | 115.831 | 264.481 |
| 16. Riau | 76.392 | 106.760 | 46.046 | 229.198 |
| 17. Bengkulu | 18.778 | 30.279 | 40.791 | 89.848 |
| 18. Sulawesi Utara | 4.742 | 45.082 | 16.127 | 65.951 |
| 19. Gorontalo | 2.063 | 5.912 | 14.452 | 22.427 |
| 20. Sulawesi Tengah | 2.038 | 61.452 | 93.276 | 156.766 |
| 21. Sulawesi Tenggara | 27.455 | 23.536 | 19.118 | 70.109 |
| Total | 1.270.101 | 3.241.293 | 2.996.046 | 7.507.440 |
| | (16,9%) | (43,2%) | (39,9%) | (100,0%) |

Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar lahan sawah intensifikasi di Indonesia sudah tidak memerlukan pemupukan P takaran tinggi, melainkan cukup takaran pemeliharaan untuk mengembalikan jumlah hara P yang terangkut lewat panen. Kenyataan ini memberikan implikasi nyata bahwa alokasi penggunaan pupuk untuk lahan sawah intensifikasi dapat dikurangi dan dialihkan ke lahan sawah bukaan baru di luar Jawa untuk meningkatkan produktivitasnya.

Kalium (K)

Kalium dalam tanaman padi bukan bagian dari komponen organik tanaman, tetapi suatu kofaktor enzim untuk 40 jenis atau lebih, yaitu mendukung jumlah anakan, meningkatkan ukuran dan berat butir, meningkatkan respon tanaman terhadap P. Kalium memainkan peranan penting dalam proses fisiologis dalam tanaman termasuk menutup dan membukanya stomata, dan toleransi terhadap ketidaksesuaian kondisi iklim, serta membuat resisten terhadap penyakit blast dan *Helminthosporium* (De Datta, 1981). Gejala kekurangan/defisiensi K adalah sebagai berikut: (1) pertumbuhan tanaman terhambat, dan berkurangnya jumlah anakan; (2) daun pendek, berkurang, dan warna daun hijau tua; (3) menguning pada tulang daun pada bagian bawah mulai dari ujung daun, dan akhirnya kering sampai berwarna coklat pucat; (4) bintik-bintik coklat berkembang pada daun yang berwarna hijau tua; (5) bintik-bintik necrotic tidak beraturan terjadi pada panikle, dan bentuk panikle panjang tipis; dan (6) gejala layu ketika tidak terjadi ketidakseimbangan unsur hara N (rendahnya K-N rasio) dalam tanaman.

Kalium (K) dalam tanah bersumber dari mineral tanah (feldspar, mika, vermikulit, biotit, dan lain-lain), dan bahan organik sisa tanaman. Kalium dalam tanah mempunyai sifat yang *mobile* (mudah bergerak) sehingga mudah hilang melalui proses pencucian atau terbawa arus pergerakan air. Berdasarkan sifat tersebut, efisiensi pupuk K biasanya rendah, namun dapat ditingkatkan dengan cara pemberian 2-3 kali dalam satu musim tanam.

Seperti halnya fosfor, peta status K lahan sawah juga telah dibuat oleh Lembaga Penelitian Tanah sejak awal tahun 1970 dengan beberapa kali penyempurnaan. Pada tahun 1991 telah dipublikasi peta status hara K lahan sawah untuk seluruh Jawa versi terakhir (edisi V) berskala 1:250.000 dan terakhir pada tahun 2000 dipublikasi menjadi peta status hara K tanah sawah skala 1:250.000 untuk 18 provinsi di Indonesia (Sofyan *et al.*, 2000) dan selanjutnya mengalami pemekaran menjadi 21 provinsi (Anonim, 2007). Peta ini membedakan status K tanah menjadi tiga kelompok berdasarkan kadar K_2O ekstrak HCl 25%, yaitu tanah berstatus K tinggi ($> 20 \text{ mg } K_2O \text{ } 100 \text{ g}^{-1}$), berstatus sedang ($10\text{-}20 \text{ mg } K_2O \text{ } 100 \text{ g}^{-1}$) dan rendah ($< 10 \text{ mg } K_2O \text{ } 100 \text{ g}^{-1}$) (Soepartini *et al.*, 1994).

Dari luasan lahan 7,5 juta ha, dapat ditunjukkan bahwa hampir seluruh tanah sawah di Indonesia berkadar hara K tinggi dan sedang dan hanya sedikit ditemukan tanah sawah yang berkadar hara K rendah. Prosentase masing-masing luasan berturut-turut 51, 37, dan 12% (Tabel 3). Kondisi ini terjadi akibat akumulasi dari pemupukan yang intensif dalam kurun 20-30 tahun terakhir. Hasil evaluasi pemupukan K pada lahan sawah intensifikasi di Jawa Barat menunjukkan bahwa lahan sawah yang berstatus K sedang dan tinggi sudah tidak menunjukkan respon terhadap pemberian pupuk KCl ([Soepartini, 1995](#)).

Tabel 3. Luas lahan sawah berdasarkan peta status K lahan sawah skala 1:250.000

| | Provinsi | Status hara K | | | Jumlah |
|-----|-------------------------|--------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| | | Rendah | Sedang | Tinggi | |
| | | ha | | | |
| 1. | Jawa Barat | 168.839 | 383.648 | 462.493 | 1.014.980 |
| 2. | Banten | 56.796 | 102.774 | 38.815 | 198.385 |
| 3. | Jawa Tengah | 95.601 | 292.494 | 728.501 | 1.116.660 |
| 4. | DI Yogyakarta | 413 | 5.025 | 57.306 | 62.744 |
| 5. | Jawa Timur | 71.875 | 345.625 | 842.420 | 1.259.920 |
| 6. | Lampung | 104.048 | 53.825 | 55.210 | 213.082 |
| 7. | Sumatera Selatan | 12.910 | 261.290 | 155.666 | 429.866 |
| 8. | Sumatera Barat | 50.398 | 110.711 | 64.056 | 225.165 |
| 9. | Kalimantan Selatan | 66.252 | 261.333 | 137.636 | 465.221 |
| 10. | Sulawesi Selatan | 26.669 | 89.070 | 465.281 | 581.020 |
| 11. | Bali | 0 | 0 | 91.571 | 91.571 |
| 12. | NTB (P. Lombok) | 0 | 0 | 122.485 | 122.485 |
| 13. | Nangroe Aceh Darussalam | 12.071 | 56.505 | 228.582 | 297.158 |
| 14. | Sumatera Utara | 10.135 | 430.633 | 89.695 | 530.463 |
| 15. | Jambi | 19.595 | 139.935 | 104.951 | 264.481 |
| 16. | Riau | 9.420 | 82.672 | 137.106 | 229.198 |
| 17. | Bengkulu | 28.392 | 40.432 | 21.024 | 89.848 |
| 18. | Sulawesi Utara | 8.661 | 34.409 | 22.881 | 65.951 |
| 19. | Gorontalo | 0 | 5.803 | 16.624 | 22.427 |
| 20. | Sulawesi Tengah | 31.980 | 32.921 | 91.865 | 156.766 |
| 21. | Sulawesi Tenggara | 22.063 | 34.809 | 13.237 | 70.109 |
| | Total | 875.644 (11,7%) | 2.806.222 (37,4%) | 3.826.074 (51,0%) | 7.507.440 (100,0%) |

5.2.2. Rekomendasi pupuk N, P, K dan pupuk organik

Rekomendasi pemupukan dapat disusun antara lain berdasarkan: (1) hasil penelitian lapang yang spesifik lokasi; (2) hasil uji tanah dan tanaman dengan peta status hara tanah dan PUTS; dan (3) gejala visual atau keragaan tanaman padi di lapangan (Setyorini *et al.*, 2003). Dalam tulisan ini akan dikaji berbagai hasil penelitian pemupukan untuk menentukan takaran pupuk N, P, dan K di lahan sawah bukaan baru.

Rekomendasi pemupukan N (urea)

Perhitungan kebutuhan pupuk N didasarkan pada tingkat produktivitas padi sawah. Pada umumnya lahan sawah yang baru dibuka mempunyai tingkat produktivitas padi sawah rendah. Untuk padi dengan tingkat produktivitas rendah (<5 t ha⁻¹) dibutuhkan urea 200 kg ha⁻¹, produktivitas sedang (5-6 t ha⁻¹) dibutuhkan urea 250-300 kg ha⁻¹ dan pada tingkat produktivitas tinggi (>6 t ha⁻¹) dibutuhkan urea 300-400 kg ha⁻¹ (Buresh *et al.*, 2006). Apabila pada suatu daerah yang memiliki data produktivitas padi dengan perlakuan tanpa pemupukan N, kebutuhan urea dapat dihitung dengan menggunakan Tabel 4. Misalnya, tanaman padi di suatu lokasi menghasilkan gabah sebanyak 3 t ha⁻¹ tanpa pemupukan N, sedangkan target hasil adalah 6 t ha⁻¹, maka tambahan pupuk urea yang diperlukan adalah sekitar 325 kg tanpa penggunaan bagan warna daun (BWD) dan 250 kg dengan BWD (Tabel 4).

Penggunaan bagan warna daun (BWD) sebagai alat untuk menentukan rekomendasi pemupukan N (urea) didasarkan pada tingkat kehijauan warna daun yang mencerminkan kadar khlorofil daun. Bagan warna daun (BWD) terdiri atas empat skala dengan gradasi warna mulai dari hijau muda sampai tua, makin pucat warna hijau daun, makin rendah skala BWD, yang berarti makin rendah ketersediaan N di tanah dan makin banyak pupuk N yang perlu diberikan. Sebaliknya apabila pada skala BWD menunjukkan warna daun hijau tua atau semakin tinggi skala BWD menunjukkan bahwa tanaman padi tidak memerlukan pemupukan N akan tetapi cenderung kelebihan pupuk N (Anonim, 2007a).

Tabel 4. Rekomendasi pemupukan nitrogen pada tanaman padi sawah

| Target kenaikan produksi dari tanpa pupuk N | Teknologi yang digunakan | Rekomendasi pemupukan urea |
|---|--|----------------------------|
| 2,5 t ha ⁻¹ | Konvensional | 275 |
| | Menggunakan BWD | 200 |
| | Menggunakan BWD+ 2 t pupuk kandang ha ⁻¹ | 175 |
| 3,0 t ha ⁻¹ | Konvensional | 325 |
| | Menggunakan BWD | 250 |
| | Menggunakan BWD+ 2 t pupuk kandang ha ⁻¹ | 225 |
| 3,5 t ha ⁻¹ | Konvensional | 375 |
| | Menggunakan BWD | 300 |
| | Menggunakan BWD+ 2 t pupuk kandang ha ⁻¹ | 275 |



Gambar 1. Bagan warna daun (BWD) dengan empat skala warna diaplikasikan secara berkala setiap 10 hari sejak tanaman padi berumur 3 minggu (kanan)

Rekomendasi pemupukan P dan K

Berdasar hasil penelitian lapang

Hara P merupakan pembatas utama pada lahan sawah bukaan baru yang berasal dari lahan kering maupun lahan rawa pasang surut. Penambahan hara P menaikkan produksi gabah 4-15 kali bila dibandingkan tanpa P (Adiningsih dan Sudjadi, 1983). Pemupukan K cenderung menaikkan hasil, dan penambahan jerami cenderung menurunkan hasil. Pada lahan sawah bukaan baru di Tugumulyo, Musi Rawas perlakuan tanpa pemupukan P (250 kg urea dan 100 kg KCl ha⁻¹) menyebabkan tanaman padi mati pada umur \pm 45 hari setelah tanam (Kasno *et al.*, 1999), dengan demikian dapat disimpulkan bahwa hara P merupakan pembatas utama pada lahan sawah bukaan baru. Takaran pupuk optimum untuk pertumbuhan dan hasil padi pada lahan sawah bukaan baru di Dwijaya, Tugumulyo adalah 250 kg urea, 200 kg SP-36, 100 kg KCl, dan 5 t jerami ha⁻¹. Hasil penelitian di Lampung menunjukkan bahwa pemberian urea 300 kg ha⁻¹, SP 36 150 P₂O₅ ha⁻¹, 50 kg KCl, 2,5 t ha⁻¹ jerami dan pemberian pupuk Zn melalui pencelupan ke dalam larutan Zn SO₄ 0,05% selama 5 menit dapat mencapai produksi tertinggi sebesar 5,1 t ha⁻¹ GKG (Suriadikarta *et al.*, 2003 dan 2004). Dalam penelitian ini varietas padi yang digunakan adalah varietas Cihorang.

Pada lahan sawah bukaan baru tanah Oxisol di Sitiung yang diairi secara kontinu, pemupukan P hingga takaran 350 kg SP-36 ha⁻¹ meningkatkan hasil padi lebih tinggi dibandingkan takaran 250 kg SP-36 ha⁻¹. Namun pada pengairan terputus pemupukan P tidak meningkatkan hasil padi (Yusuf *et al.*, 1990). Pemupukan P dalam bentuk pupuk P mudah larut seperti TSP atau SP-36 dan pupuk P sukar larut seperti P-alam (P-alam Ciamis, North Carolina dan *Christmas*) memberikan efektivitas yang sama dalam meningkatkan hasil gabah dan ketersediaan P dalam tanah. Namun demikian pH tanah dan kadar Ca tidak meningkat (Kasno *et al.*, 1997). Hasil serupa juga diperoleh di lahan sawah bukaan baru Air Gegas, Sumatera Selatan. Pemberian P-alam dua minggu sebelum tanam/saat pengolahan tanah bersama pupuk kandang 20 t ha⁻¹ meningkatkan ketersediaan P lebih tinggi dibandingkan bila diberikan bersama jerami. Asam-asam organik dari pupuk kandang mengikat besi dan membentuk

ikatan organo mineral yang tidak larut. Fosfor (P) yang semula terikat besi/aluminium akan terlepas sehingga ketersediaan P meningkat (Hanum, 2004).

Pemupukan P dan K di sawah bukaan baru Ultisols Tugumulyo, Sumatera Selatan menunjukkan bahwa tanaman padi memerlukan pemupukan P untuk meningkatkan pertumbuhan dan hasil padi sawah. Pemupukan 200 ppm P dan 100 ppm K nyata meningkatkan bobot gabah kering. Semakin tinggi takaran pupuk P semakin tinggi serapan hara tanaman. Jumlah anakan produktif dengan nisbah Fe/P, Fe/Ca, Fe/Mg dan Fe/Ca+Mg tidak berkorelasi (Hartatik dan Al-Jabri, 2000).

Hasil penelitian respon tanaman padi terhadap pemupukan P dan K serta keterkaitan dengan besi terlarut dan sifat-sifat kimia tanah sawah bukaan baru, Sungkai Selatan, Lampung Utara yang dilakukan di laboratorium dan rumah kaca menunjukkan bahwa tidak terdapat hubungan antara ketersediaan P dan K-dd terhadap Fe_2O_3 juga antara ketersediaan P terhadap Al-dd. Jumlah anakan produktif dan bobot gabah bernas berkorelasi negatif nyata terhadap nisbah Fe/P dan Fe/Ca. Batas kritis Fe/P dan Ca/P larutan tanah berturut-turut 50 dan 30 pada saat tanaman berumur 100 hari. Jumlah anakan produktif dan bobot gabah bernas tidak berkorelasi dengan nisbah Fe/K. Meskipun terjadi peningkatan aktivitas Fe dengan adanya peningkatan nisbah Fe/K, tetapi bahaya keracunan besi tidak berpengaruh terhadap bobot gabah bernas (Al-Jabri *et al.*, 1996).

Pada lahan sawah yang baru dibuka 2 tahun yaitu di lokasi Dorowati, Lampung, tanaman padi sangat respon terhadap pemupukan P, dengan takaran optimum adalah $45 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$, sedangkan pada lahan sawah yang dibuka 5 tahun yang lalu di Bandar Abung, Lampung, tanaman padi tidak tanggap terhadap pemupukan P. Hal ini diduga pemupukan P pada tanaman padi di daerah ini telah intensif dilakukan sehingga kadar P tanah sudah tinggi (Kasno *et al.*, 1997). Hasil penelitian pada sawah bukaan baru dari Harapan Masa Tapin, Kalimantan Selatan, menunjukkan tanggap tanaman padi terhadap pemupukan P baik berupa SP-36 maupun fosfat alam dengan takaran P optimum $180 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$, selain pemupukan P diperlukan juga pemberian bahan ameliorasi dolomit sebesar 500 kg ha^{-1} (Widowati *et al.*, 1999).

Pada penelitian pada sawah bukaan baru di Bangkinang Riau pemberian pupuk NPK dapat meningkatkan produksi padi sampai hampir 200%. Bila ditambah dengan pemberian kaptan 1 t ha^{-1} dan pupuk NPK, produksi padi dapat meningkat sampai 250%, yaitu dari $1,7 \text{ t ha}^{-1}$ menjadi $4,1 \text{ t ha}^{-1}$ GKG (Jalid dan Hirwan, 1987).

Berdasarkan status hara P dan K tanah

Data status P dan K lahan sawah dikombinasikan dengan hasil penelitian kalibrasi P dan K di lapangan selanjutnya digunakan sebagai dasar penyusunan rekomendasi pemupukan P dan K padi sawah spesifik lokasi yang tertuang dalam Peraturan Menteri Pertanian No.40/Permentan/OT.140/1/2007. Permentan ini merupakan acuan anjuran pemupukan anorganik yang dikombinasikan dengan pupuk organik yang bersumber dari jerami padi dan kotoran ternak. Penggunaan pupuk organik harus digalakkan mengingat lahan-lahan pertanian kita sudah mengalami penurunan produktivitas yang diindikasikan dengan rendahnya kandungan C-organik tanah (C-organik $<2\%$) (Kasno *et al.*, 2003). Takaran anjuran untuk masing-masing jenis pupuk pada berbagai status P dan K tanah disajikan pada Tabel 5 dan 6.

Anjuran rekomendasi pemupukan dalam Permentan tersebut dibagi menjadi tiga kelompok pilihan, yaitu: (a) tanpa bahan organik; (b) dengan 5 t jerami ha^{-1} ; dan (c) dengan 2 t pupuk kandang ha^{-1} . Penggunaan pupuk atau bahan organik di lahan sawah harus digalakkan kembali mengingat kandungan bahan organik (C-organik) tanah-tanah sawah di Indonesia saat ini sudah sangat rendah ($<2\%$) (Anonim, 2006).

(a). *Tanpa bahan organik*

Takaran pemupukan P dan K (dan juga N) yang direkomendasikan dalam kelompok rekomendasi tanpa bahan organik ini dapat diterapkan pada lahan-lahan sawah yang berkadar bahan organik tanah sudah tinggi. Namun demikian dalam jangka panjang, penggunaan bahan organik harus diterapkan menggunakan sumber bahan organik yang tersedia *insitu*. Pada lahan sawah bukaan baru, penggunaan pupuk anorganik saja tidak dianjurkan.

(b). Dengan jerami 5 t ha⁻¹

Jerami merupakan sumber bahan organik *insitu* di lahan sawah yang sangat penting dan melimpah. Penggunaan jerami padi sisa panen dapat mengurangi pemakaian pupuk N dan K (pada anjuran a) karena 80% kadar K dalam tanaman padi terkonsentrasi dalam jerami. Takaran jerami yang dianjurkan adalah setara dengan gabah yang dihasilkan dalam setiap hektarnya. Rata-rata produktivitas padi unggul saat ini adalah 5 t GKP ha⁻¹, maka produksi jerami diperkirakan sekitar 5 t ha⁻¹ juga. Jumlah hara yang dapat disumbangkan dari 5 t jerami setara dengan 20 kg urea dan 50 kg KCl. Pengembalian jerami ini dapat menggantikan pupuk KCl pada tanah-tanah berkadar K sedang dan tinggi yang memerlukan sekitar 50 kg KCl ha⁻¹. Aplikasi jerami sebagai pupuk organik harus melalui proses pengomposan agar hara yang terkandung didalamnya dapat segera dimanfaatkan tanaman.

(c). Dengan 2 t pupuk kandang ha⁻¹

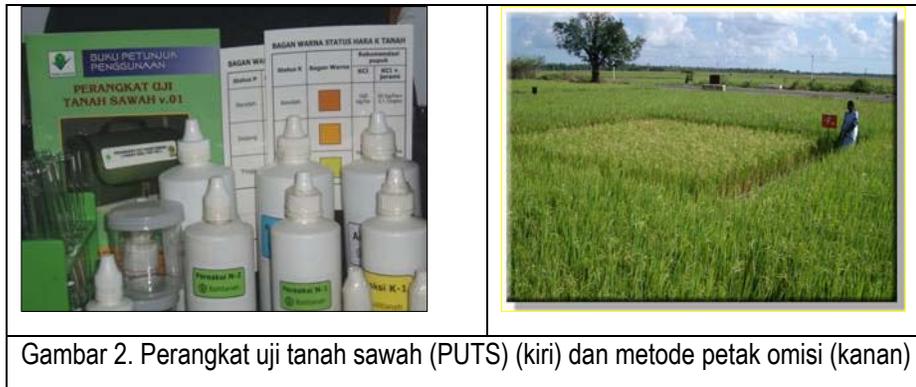
Sumber bahan organik lain adalah pupuk kandang (ayam, sapi, kambing). Anjuran ini dapat diterapkan di lahan-lahan sawah yang menerapkan teknologi padi sawah berbasis ternak dalam program sistem integrasi padi dan ternak (SIPT). Penggunaan pupuk kandang adalah 2 t ha⁻¹ dapat mengurangi takaran pemakaian pupuk N, P dan K. Diperhitungkan bahwa setiap 2 t pupuk kandang mengandung unsur hara N, P dan K yang setara dengan 50 kg urea, 50 kg SP-36, dan 20 kg KCl.

Tabel 5. Rekomendasi pemupukan P pada tanaman padi sawah

| Kelas status hara P tanah | Kadar hara P tanah terekstrak HCl 25% mg P ₂ O ₅ 100 g ⁻¹ | Takaran rekomendasi pupuk SP-36 | | |
|---------------------------|---|---------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| | | - Jerami | 5 t ha ⁻¹ jerami | 2 t ha ⁻¹ ppk. kandang |
| Rendah | < 20 | 100 | 100 | 50 |
| Sedang | 20 – 40 | 75 | 75 | 25 |
| Tinggi | >40 | 50 | 50 | 0 |

Tabel 6. Rekomendasi pemupukan K pada tanaman padi sawah

| Kelas status hara K tanah | Kadar hara K tanah terekstrak HCl 25% g) | Takaran rekomendasi pupuk KCl | | |
|------------------------------|---|-------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| | | - Jerami | 5 t ha ⁻¹ jerami | 2 t ha ⁻¹ ppk. kandang |
| | mg K ₂ O 100 g ⁻¹ | kg ha ⁻¹ | | |
| Rendah | < 10 | 100 | 50 | 80 |
| Sedang | 10 – 20 | 50 | 0 | 30 |
| Tinggi | >20 | 50 | 0 | 30 |



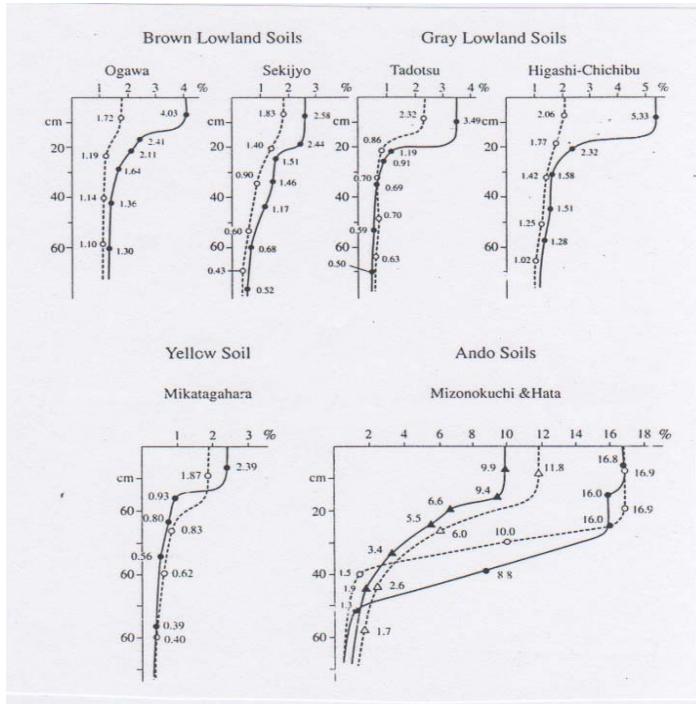
Gambar 2. Perangkat uji tanah sawah (PUTS) (kiri) dan metode petak omisi (kanan)

Pengelolaan Bahan Organik

Lahan sawah pada umumnya berada dalam kondisi tergenang minimal selama 3-4 bulan selama setahun. Selama periode tersebut tanah dalam kondisi reduktif dimana suplai oksigen sangat terbatas. Situasi ini menyebabkan dekomposisi bahan organik berjalan lambat sehingga pada umumnya kadar bahan organik di tanah sawah lebih tinggi dibanding lahan kering (Gambar 3) (Kyuma, 2004). Mitsuchi (1974 dalam Kyuma, 2004) menunjukkan profil kandungan bahan organik tanah sawah dan tanah kering yang ditanami padi sebagai akibat dari penggenangan. Kandungan bahan organik tanah pada tanah sawah yang digenangi nyata lebih tinggi dibandingkan tanah kering. Penyebabnya antara lain adanya suplai bahan organik yang cukup dari sisa tanaman padi berupa jerami (sekitar 10 t ha⁻¹) serta bonggol dan akar tanaman padi yang

mencapai berat sekitar 2-3 t ha⁻¹. Pada tahap selanjutnya, mineralisasi bahan organik tanah ini akan menghasilkan hara bagi tanaman padi khususnya sumber nitrogen (N).

Berdasarkan hasil di atas serta data hasil survei status bahan organik tanah-tanah pertanian di Indonesia dapat ditunjukkan bahwa lahan sawah bukaan baru yang berasal dari lahan kering yang disawahkan pada umumnya mempunyai kandungan bahan organik tanah yang sangat rendah hingga rendah yang mencerminkan pula rendahnya tingkat produktivitas tanahnya (Kasno *et al.*, 2000). Salah satu upaya yang harus dilakukan adalah menambah kandungan bahan organik tanah melalui penggunaan pupuk organik. Namun sebaliknya pada tanah sawah bukaan baru yang berasal dari tanah rawa pasang surut, kandungan bahan organik tanah jauh lebih tinggi namun disisi lain mengalami keracunan asam-asam organik dan rendahnya unsur hara tanah.



Gambar 3. Perbandingan antara kadar bahan organik pada tanah sawah (—) dan tanah kering (---) di Jepang

Pengelolaan hara P dan K pada lahan sawah tidak dapat dipisahkan dari pengelolaan bahan organik. Dalam Bab 4.1 dan 4.2 telah diuraikan dengan jelas peranan yang sangat penting dari bahan organik dalam mempengaruhi rekomendasi dan kebutuhan pupuk P dan K. Untuk lahan sawah yang pengelolaannya tidak disertai dengan pemberian bahan organik diperlukan pupuk P dan K (juga pupuk N) yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang ditambah bahan organik, baik berupa jerami maupun berupa pupuk kandang. Pemberian bahan organik ke dalam tanah selain ditujukan sebagai sumber hara makro, mikro dan asam-asam organik juga berperan sebagai bahan pembenah tanah untuk memperbaiki kesuburan fisik, kimia, dan biologi tanah dalam jangka panjang.

Pengembalian jerami ke dalam lahan sawah sama artinya dengan memupuk kalium, karena 80% kandungan K pada tanaman padi terdapat dalam jerami. Oleh karena itu, jerami mempunyai nilai strategis yang tinggi untuk lahan sawah. Seiring dengan meningkatnya intensitas tanam padi yang berarti waktu bera sangat pendek, sering ditemukan kendala bahwa pengembalian jerami ke lahan sawah sukar untuk diterapkan karena diperlukan upaya khusus, yang juga berarti perlu biaya dan waktu khusus. Pengembalian jerami secara langsung tanpa dikomposkan dulu akan mengakibatkan pengolahan tanah terganggu dan tanaman padi yang baru dipindahkan menguning. Pembakaran jerami di lahan sawah tidak disarankan, karena akan menghilangkan banyak unsur-unsur hara yang terkandung dalam jerami dan hilangnya fungsi-fungsi jerami (bahan organik) sebagai bahan pembaik sifat-sifat tanah.

Untuk mengatasi kendala tersebut, perlu dilakukan pengelolaan jerami dengan baik. Ada dua alternatif pengelolaan yang dapat dilakukan. Pertama, jerami yang dihasilkan sebaiknya tidak langsung dikembalikan ke sawah, namun ditunda pada musim tanam berikutnya. Jerami yang ada supaya dikumpulkan di bagian pinggir petakan sawah atau dapat di tempat lain dan dibiarkan melapuk secara alami. Kedua, jerami segar yang ada dipotong-potong menjadi bagian yang lebih kecil dengan menggunakan mesin pemotong dan kemudian dikomposkan secara langsung di lapangan dengan menggunakan mikroba perombak bahan organik (dekomposer) (Setyorini *et al.*, 2007). Dengan teknologi ini, waktu pengomposan dapat lebih cepat dan hanya membutuhkan waktu sekitar 2-3 minggu sebelum tanah diolah kembali untuk musim tanam berikutnya.

Selain pemberian jerami, direkomendasikan pula penggunaan pupuk kandang sebanyak 2 t ha^{-1} untuk meningkatkan dan mempertahankan kesuburan dan produktivitas lahan sawah. Selain jerami dan pupuk kandang, azolla dan ganggang biru merupakan alternatif sumber pupuk N di lahan sawah. Keberadaan bahan-bahan ini bukan hal baru namun sudah lama ditinggalkan oleh petani. Perlu ditekankan bahwa dalam jangka panjang pemberian bahan organik ke lahan sawah tidak hanya berguna untuk mengembalikan atau mempertahankan kandungan unsur-unsur hara makro dan mikro dalam tanah, tetapi bahan organik mempunyai banyak fungsi-fungsi (manfaat) lain untuk mempertahankan kesuburan fisik, kimia, dan biologi tanah.

5.2.3. Rekomendasi pupuk unsur hara makro sekunder

Pemupukan Kalsium

Kandungan kalsium (Ca) pada tanah sawah bukaan baru yang berasal dari tanah masam pada umumnya rendah, sebaliknya jika berasal dari tanah netral dan alkalin maka kadar Ca tanah cukup tinggi. Untuk dapat mensuplai kebutuhan tanaman dalam jumlah yang cukup, kadar Ca minimal adalah $>1 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, atau kejenuhan basa $> 8\%$ dari KTK. Untuk pemenuhan kebutuhan pertumbuhan yang optimal $>20\%$ KTK harus dienuhi oleh kalsium, atau terdapat dalam rasio $\text{Ca}_{\text{dd}}:\text{Mg}_{\text{dd}}$ sebesar 3:1 atau 4:1. Jika didekati dari sisi tanaman rasio Ca:Mg yang optimum dalam tanaman pada masa bunting sampai pembungaan adalah 1:1 atau 1,5:1,0.

Rekomendasi pemupukan Ca pada tanah yang kekurangan Ca adalah sebesar 24 kg Ca ha^{-1} jika jerami tidak dikembalikan, dan 12 kg Ca ha^{-1} jika jerami dikembalikan. Hal ini didasarkan pada nilai rata-rata serapan total Ca pada gabah dan jerami sebesar 4 kg t^{-1} . Jika rata-rata produktivitas tanaman adalah 6 t ha^{-1} , maka akan menyerap Ca sebesar 24 kg Ca ha^{-1} , dimana sekitar 80% Ca terdapat dalam jerami.

Pemupukan Magnesium

Seperti halnya dengan Ca, kandungan magnesium (Mg) pada tanah sawah bukaan baru yang berasal dari tanah masam pada umumnya rendah,

sebaliknya jika berasal dari tanah netral dan alkalin maka kadar Mg tanah cukup tinggi. Ketersediaan unsur magnesium (Mg) pada tanah-tanah sawah bukaak baru di Lampung dan Kalimantan Selatan mempunyai kadar Mg_{ed} yang sangat rendah. Diduga hal ini disebabkan oleh bahan induk tanah yang miskin unsur Mg (Widowati *et al.*, 1999; Widowati dan Rochayati, 2003). Konsentrasi Mg dalam tanah $<1 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ menunjukkan status yang sangat rendah, kadar Mg $>3 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ dianggap cukup bagi pertumbuhan tanaman. Beberapa penyebab defisiensi Mg adalah bahan induk, serta rasio K:Mg yang lebar ($>1:1$).

Rekomendasi pemupukan Mg untuk tanah yang kekurangan Mg adalah sebesar 21 kg Mg ha^{-1} . Jumlah tersebut setara dengan jumlah Mg yang diserap tanaman. Dalam setiap ton gabah terkandung Mg sebesar 3,5 kg. Di dalam tanaman padi, sebagian besar Mg terdapat dalam jerami dibandingkan dalam gabah dengan rasio 60:40%, sehingga pengembalian jerami dalam tanah sangat dianjurkan.

Pemupukan Belerang

Hasil penelitian lapang di Jawa menunjukkan bahwa analisis tanah yang menggambarkan status hara belerang (S) dalam tanah saja tidak dapat digunakan untuk menilai kebutuhan pupuk S pada tanah sawah (Santoso *et al.*, 1990). Pada lahan sawah bukaak baru yang berasal dari tanah masam, kandungan S dalam tanah pada umumnya cukup tinggi. Sebaliknya bila tanah awalnya bereaksi netral atau alkalin, maka diduga mengalami kahat S. Hasil penelitian tanggap tanaman padi terhadap pemupukan S di 94 lokasi yang tersebar pada status hara S tanah rendah sampai tinggi menunjukkan bahwa sebagian besar ($\pm 87\%$) menunjukkan tanggap negatif terhadap pemupukan $12\text{-}24 \text{ kg S ha}^{-1}$, dan hasilnya pun tidak konsisten dari musim ke musim.

Batas kritis S dalam tanah yaitu $<9 \text{ mg S kg}^{-1}$ (S terekstrak dalam $0,01 \text{ M Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$) Dobermann dan Faihurst (2000). Rendahnya ketersediaan S dalam tanah dapat disebabkan oleh salah satu dari faktor berikut: kadar S dalam bahan induk rendah, penggunaan pupuk makro primer tanpa S pada pertanaman padi intensif, serta pembakaran jerami. Pemupukan belerang (S) untuk tanaman padi perlu mempertimbangkan faktor-faktor yang mempengaruhi ketersediaan hara S pada lahan sawah.

Rekomendasi pemupukan S adalah 12 kg S ha⁻¹, dalam bentuk ZA atau kieserite, dengan asumsi serapan S oleh gabah dan jerami adalah sebesar 12 kg S 6 t produksi⁻¹. Akan tetapi jika jerami dikembalikan maka saran rekomendasi pemupukan S sebesar 6 kg S ha⁻¹, karena rasio S dalam gabah dan jerami sebesar 40:60%.

5.2.4. Rekomendasi pupuk unsur hara mikro

Pemupukan unsur hara mikro harus diperhitungkan dengan sangat hati-hati karena pemberian yang berlebihan dapat meracuni tanaman dan menghambat pertumbuhan. Penggenangan tanah sawah terus-menerus atau tanah sawah yang berdrainase jelek, dapat mengakibatkan menurunnya ketersediaan hara mikro, terutama Zn dan Cu.

Pemupukan N dan P dengan takaran tinggi tanpa pengembalian sisa panen akan mempercepat penurunan ketersediaan hara Zn dan Cu serta hara makro lainnya seperti S, Ca, dan Mg. Terjadinya kekahatan Zn dan Cu di lahan sawah sangat spesifik lokasi tergantung dari kandungannya dalam bahan induk, pH tanah, drainase, kadar bahan organik serta keadaan redoks tanah. Oleh karena itu gejala kekahatan yang terjadi belum tentu disebabkan rendahnya kandungan unsur-unsur mikro tersebut dalam tanah sehingga pemecahannya tidak harus dengan menambah unsur tersebut.

Pemupukan Cuprum

Batas kritis kadar Cuprum dalam tanah adalah 1 ppm. Apabila kadar Cu tanah <1 ppm maka disarankan pemupukan 5-10 kg Cu ha⁻¹ untuk masa tanam 5 tahun, atau merendam akar bibit padi dalam larutan 1% CuSO₄ selama 1 jam. Serapan Cu oleh tanaman padi adalah sekitar 72 g Cu ha⁻¹ 6 t produksi⁻¹. Cu paling banyak terdapat dalam jerami. Pembakaran jerami tidak menyebabkan Cu ter volatilisasi kecuali hilang terbawa aliran permukaan.

Pemupukan Seng

Batas kritis seng (Zn) tersedia dalam tanah adalah <0,8 mg Zn kg⁻¹ (DTPA) (Doberman and Fairhurst, 2000). Apabila kadar Zn dalam tanah rendah,

maka rekomendasi pemupukan Zn adalah sebesar 5-10 kg Zn ha⁻¹ dalam bentuk ZnO, ZnCl, atau ZnSO₄ (Doberman and Fairhurst, 2000). Atau diberikan dengan cara mencelupkan akar bibit padi ke dalam larutan 0,05% ZnSO₄ selama 5 menit (Al-Jabri *et al.*, 1990). Untuk mengurangi kejadian kahat Zn pada tanah, bahan organik berupa jerami supaya dikembalikan ke dalam tanah, karena 60% Zn terdapat dalam jerami.

Pemupukan Besi

Batas kritis defisiensi besi (Fe) dalam tanah adalah < 4-5 mg Fe kg⁻¹ tanah (DTPA-CaCl₂, pH 7,3). Keadaan demikian umumnya terdapat pada tanah-tanah pH tinggi atau alkalin, serta tanah yang mempunyai rasio Fe:P sangat lebar (Doberman and Fairhurst, 2000). Tanaman padi membutuhkan sekitar 500 g Fe/musim tanam dengan produktivitas gabah 6 t ha⁻¹. Rekomendasi pemupukan Fe adalah mengembalikan jerami sisa panen atau memupuk dengan bahan organik lainnya setiap musim tanam karena sekitar 50% dari Fe yang diserap tanaman terdapat dalam jerami.

Pemupukan Mangan

Kahat Mangan (Mn) tampak pada tanah sawah yang telah mengalami pelapukan lanjut, atau tanah-tanah yang banyak mengandung Fe. Batas kritis (meracun) Mn dalam tanah adalah <1 mg Mn kg⁻¹ (DTPA+CaCl₂, pH 7,3) (Doberman and Fairhurst, 2000). Tanaman padi menyerap Mn sebesar 3 kg Mn/musim untuk tingkat produksi 6 t gabah. Rekomendasi Mn pada tanah yang kahat adalah 5-20 kg MnSO₄ atau MnO ha⁻¹.

VI. PELUANG DAN KENDALA PENERAPAN TEKNOLOGI PEMUPUKAN DI LAHAN SAWAH BUKAAN BARU

Peluang

1. Pemupukan secara lebih rasional dan berimbang adalah salah satu faktor kunci untuk dapat memperbaiki dan meningkatkan produktivitas lahan pertanian, khususnya lahan sawah bukaan baru di daerah tropika di mana kecukupan hara merupakan salah satu faktor pembatas. Penggunaan pupuk yang lebih rasional dan berimbang berarti harus memperhatikan kadar unsur hara di dalam tanah, jenis dan mutu pupuk, dan keadaan pedoagroklimat serta mempertimbangkan unsur hara yang diperlukan tanaman untuk pertumbuhan dan produksi optimum.
2. Kunci keberhasilan pengembangan padi di lahan sawah bukaan baru adalah perbaikan kesuburan kimia tanah atau ameliorasi serta pemupukan. Hal ini disebabkan karena sebagian besar lahan sawah bukaan baru di luar Jawa mempunyai kendala kesuburan tanah. Kendala tersebut antara lain adalah tingkat kemasaman tanah (pH) rendah yang berkorelasi erat dengan terjadinya keracunan Fe, kahat P, Ca, dan Mg.
3. Telah tersedia teknologi pengelolaan hara dan tanaman dan alat dukung untuk lahan sawah bukaan baru. Informasi ini perlu disebarkan kepada petani melalui penyuluh pertanian setempat.

Kendala

1. Penelitian peningkatan produktivitas padi di lahan sawah bukaan baru sudah cukup banyak namun penanganan permasalahan di lapangan belum terintegrasi lintas sektoral seperti banyaknya kerusakan jaringan irigasi, kelangkaan varietas padi yang sesuai untuk lahan-lahan yang mengalami cekaman masam, keracunan Fe, serta kekeringan serta faktor eksternal seperti kondisi sosial ekonomi masyarakatnya.

2. Lemahnya kelembagaan petani serta bimbingan dan penyuluhan kepada petani di areal pengembangan sawah bukaan baru sehingga akses petani terhadap informasi teknologi yang telah tersedia sangat rendah.

PENUTUP

Adopsi teknologi untuk meningkatkan produktivitas padi di lahan sawah bukaan baru perlu ditingkatkan melalui penyuluhan yang lebih proaktif serta pemberian fasilitas dari pemerintah berupa penyediaan sarana dan prasarana produksi yang diperlukan petani. Teknologi yang telah ada diharapkan dapat diterapkan dalam program pengawalan teknologi pembukaan lahan sawah baru di luar Jawa yang dilaksanakan oleh Direktorat Perluasan Areal Pertanian, Direktorat Jenderal Pengelolaan Lahan dan Air yang telah dilaksanakan sejak tahun 2006.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiningsih, J.S. dan M. Sudjadi. 1983. Pengaruh penggenangan dan pemupukan terhadap tanah Podsolik Lampung Tengah. *Pemberitaan Penelitian Tanah dan Pupuk* 2:1-8.
- Anonim. 2006. Keputusan Menteri Pertanian No.01/Kpts/SR.130/ 1/2006 tentang Rekomendasi Pemupukan N, P dan K Pada Padi Sawah Spesifik Lokasi. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Departemen Pertanian.
- Anonim. 2007. Peraturan Menteri Pertanian No. 40/Permentan/ OT.140/4/2007 tentang Rekomendasi Pemupukan N, P dan K Pada Padi Sawah Spesifik Lokasi (Revisi Kepmentan No.01/Kpts/SR.130/1/2006). Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Departemen Pertanian.
- Anonim. 2007a. [Bagan Warna Daun: Menghemat Penggunaan Pupuk N pada Padi Sawah. Puslitbang Tanaman Pangan-BB Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian-BB Penelitian Tanaman Padi-BBP2TP-Internasional Rice Reseach Institute.](#)

- Al-Jabri, M., M. Soepartini, dan Didi Ardi S. 1990. Status hara Zn pada lahan sawah. hlm. 427-464 *dalam* Prosiding Lokakarya Nasional Efisiensi Penggunaan Pupuk. Cisarua, 12-13 Nopember 1990. Puslittanak-Badan Litbang Pertanian.
- , M. Soepartini, dan J. Sri Adiningsih. 1996. Tanggap padi sawah terhadap pemupukan P dan K serta keterkaitan Fe terlarut dengan sifat-sifat kimia tanah sawah buka-an baru. hlm. 63-75 *dalam* Prosiding Pertemuan pembahasan dan Komunikasi Hasil Penelitian Tanah dan Agroklimat: Bidang Kesuburan dan Produktivitas Tanah. Cisarua, Bogor, 26-28 September 1995. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Balai Penelitian Tanah. 2003. Petunjuk Teknis Kalibrasi Uji Tanah Hara P dan K di Lahan Kering untuk Tanaman Jagung. Balai Penelitian Tanah, Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Buresh, R.J., Christian Witt, and Mirasol F. Pampolino. 2006. SSNM: an approach for optimizing nutrient use in intensive rice production. International Rice Research Institut. Phillipine, PPI/PPIC and IPI Singapore.
- Dahnke, W.C. and G.V. Johnson. 1990. Testing soils for available nitrogen. p. 127-137. *In* R.L. Westerman (Ed). Soil Testing and Plant Analysis. Third Edition. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
- De Datta, S.K. 1981. Principles and Practices of Rice Production. The International Rice Research Institute, Los Banos, The Philippines. John Willey & Sons, New York.
- Dobermann, A. and T. Fairhurst. 2000. Rice: Nutrient Disorder and Nutrient Management. International Rice Research Institute – Potash & Phosphate Institute (PPI) - Potash & Phosphate Institute of Canada (PPIC).
- Hasegawa, K. 1992. Studies on the dynamics of nitrogen in paddy soils and its environmental impact.

- Hanum, H. 2004. Peningkatan Produktivitas Tanah Ultisol yang Baru Disawahkan Berkaitan dengan P Tersedia Melalui Pemberian Bahan Organik, Fosfat Alam dan Pencucian Besi. Disertasi. Sekolah Pasca Sarjana Institut Pertanian Bogor.
- Hartatik, W. dan M. Al-Jabri. 2000. Pengaruh pemupukan P dan K terhadap sifat kimia dan hasil padi sawah bukaan baru Ultisol Tugumulyo Sumatera Selatan. hlm. 201-213 *dalam* Prosiding Seminar Nasional Sumber Daya Lahan: Buku III. Cisarua, Bogor, 9-11 Februari 1999. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Hikmatullah, Sawiyo, dan Nata Suharta. 2002. Potensi dan kendala pengembangan sumberdaya lahan untuk pencetakan sawah irigasi di luar Jawa. *Jurnal Litbang Pertanian* 21(4): 115-123.
- Jalid, N., dan Hirwan. 1987. Pengaruh Pemupukan NPK, Kapur, Bahan Organik dan Hara Mikro terhadap Padi Sawah Bukaak Baru. Laporan Hasil Penelitian Tahun 1987/1988.
- Kasno, A., Sulaeman, dan B.H. Prasetyo. 1997. Efektivitas Penggunaan pupuk P-alam pada lahan sawah bukaan baru. hlm. 39-55 *dalam* Prosiding Pertemuan pembahasan dan Komunikasi Hasil Penelitian Tanah dan Agroklimat: Bidang Kimia dan Biologi Tanah. Cisarua, Bogor, 4-6 Maret 1997. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- , Sulaeman, dan Mulyadi. 1999. Pengaruh pemupukan dan pengairan terhadap Eh, pH, ketersediaan P dan Fe serta hasil padi pada tanah sawah bukaan baru. *Jurnal Tanah dan Iklim* 17: 72-81.
- , Sulaeman, dan S. Dwiningsih. 2000. Penentuan ketersediaan P tanah menggunakan kurva erapan pada tanah sawah bukaan baru. *Jurnal Tanah dan Iklim* 18: 23-28.
- , Nurjaya, dan D. Setyorini. 2003. Status C-organik lahan sawah di Indonesia. Konggres Himpunan Ilmu Tanah Indonesia (HITI) di Universitas Andalas, Padang.
- Kyuma Kazutake. 2004. *Paddy Soil Science*. Kyoto University Press. Japan.

- Nursyamsi, D., L.R. Widowati, D. Setyorini, dan J. Sri Adiningsih. 2000. Pengaruh pengelolaan tanah, pengairan terpadu dan pemupukan terhadap produktivitas lahan sawah baru pada Inceptisols dan Ultisols Muarabeliti dan Tatakarya. *Jurnal Tanah dan Iklim* 18: 29-38.
- Rachim, A. 1995. Pembinaan Uji Tanah Hara Makro N, P, K, S, Ca, Mg. Bahan Pelatihan Pembinaan Uji Tanah dan Analisis Tanaman. Bogor, 23 Januari-4 Februari 1995 (Tidak dipublikasikan).
- Santoso, D., Heryadi, Sukristiyonubowo, dan Joko Purnomo. 1990. Pemupukan belerang di lahan sawah. hlm. 241-252 *dalam* Prosiding: Lokakarya Nasional Efisiensi Penggunaan Pupuk V. Cisarua, 12-13 Nopember 1990. Puslittanak, Badan Litbang Pertanian.
- Sediyarso, M., D. Santoso, M. Soepartini, M. Al-Jabri, J. Sri Adiningsih, dan M. Sudjadi. 1989. Peta keperluan fosfat tanah sawah di Jawa dan Madura. *Pemberitaan Penelitian Tanah dan Pupuk* 8: 13-25.
- , J. Prawirasumantri, W. Hartatik, A. Pramudia, dan M. Sudjadi. 1990. Evaluasi kedua keperluan fosfat pada lahan sawah intensifikasi di Jawa. hlm. 209-221 *dalam* Prosiding Lokakarya Nasional Efisiensi Penggunaan Pupuk V. Cisarua 12-13 Nopember 1990. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Setyorini, D., A. Kasno, I G.M. Subiksa, D. Nursyamsi, Sulaeman, dan J. Sri Adiningsih. 1994. Evaluasi Status P dan K Tanah Sawah Intensifikasi sebagai Dasar Penyusunan Rekomendasi Pemupukan P dan K di Sumatera Barat, Sumatera Selatan, dan Kalimantan Selatan. Pembahasan Laporan Paket Teknologi Hasil Penelitian Agriculture Research Management Project Phase-I, Cisarua.
- , 2001. Perilaku Fosfat pada Tanah Sulfat Masam dalam Kaitannya dengan Pertumbuhan Tanaman Padi. Disertasi Pasca Sarjana. Institut Pertanian Bogor.
- , L. R. Widowati, dan S. Rochayati. 2003. Uji Tanah sebagai Dasar Penyusunan Rekomendasi Pemupukan. *Sumber Daya Tanah Indonesia. Seri Monograf No. 2*. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor. 45 hlm.

- , L.R. Widowati, dan S. Rochayati. 2004. Teknologi pengelolaan hara tanah sawah intensifikasi. hlm. 137-168 *dalam* Tanah Sawah dan Teknologi Pengelolaannya. Ed.: F. Agus, A. Adimihardja., S. Hardjowigeno, A.M. Fagi, W. Hartatik. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Badan penelitian dan Pengembangan Pertanian, Departemen Pertanian.
- , Neneng L.N, dan A. Rachman. 2007. Teknologi Pemupukan Spesifik Lokasi dan Konservasi Tanah di Desa Bumiayu Kecamatan Wonomulyo Kabupaten Pole Mandar. Booklet Primatani. Balai Penelitian Tanah, Bogor.
- Soepartini, M., Nurjaya, A. Kasno, Supardi Arjakusuma, Moersidi S., dan J. Sri Adiningsih. 1994. Status hara P dan K serta sifat-sifat tanah sebagai penduga kebutuhan pupuk padi sawah di P. Lombok. Pemberitaan Penelitian Tanah dan Pupuk 12: 23-35.
- . 1995. Status kalium tanah sawah dan tanggap padi terhadap pemupukan KCl di Jawa Barat. Pemberitaan Penelitian Tanah dan Pupuk 13: 27-40.
- Sofyan, A., M. Sedyarso, Nurjaya, dan J. Suryono. 2000. Laporan Akhir Penelitian Status Hara P dan K Lahan Sawah sebagai Dasar Penggunaan Pupuk yang Efisien pada Tanaman Pangan. Bag. Proyek Sumberdaya Lahan dan Agroklimat. Puslittanak, Bogor.
- , D. Nursyamsi, and I. Amien. 2002. Development of soil testing in Indonesia. Workshop Proceedings, 21-24 January 2002. SMCRSP Technical Bulletin 2003-01.
- Sulaeman, Eviati, dan J. Sri Adiningsih. 1997. Pengaruh Eh dan pH terhadap sifat erapan fosfat, kelarutan besi dan hara lain ada tanah Hapludox Lampung. hlm. 1-18 *dalam* Prosiding Pertemuan pembahasan dan Komunikasi Hasil Penelian Tanah dan Agroklimat: Bidang Kimia dan Biologi Tanah. Cisarua, Bogor, 4-6 Maret 1997. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.

- Suriadikarta, D.A., A.Sofyan, G. Syamsidi, dan J. Suryono. 2003. Penelitian Peningkatan Produktivitas Lahan Sawah di Luar Jawa untuk Mendukung Ketahanan Pangan. Laporan Akhir Penelitian. Balai Penelitian Tanah, Puslitbangtanak.
- , Agus Sofyan, dan W. Hartatik. 2004. Penelitian Pengelolaan Hara Lahan Sawah Mineral Masam Bukaan Baru. Laporan Akhir. Balai Penelitian Tanah, Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat.
- Widjaja-Adhi, I P.G. 1986. Pengelolaan lahan rawa pasang surut dan lebak. *Jurnal Badan Litbang Pertanian* V(1): 1-9.
- Widowati, L.R., D. Nursyamsi, dan J. Sri Adiningsih. 1997. Perubahan sifat kimia tanah dan pertumbuhan padi pada lahan sawah baru di rumah kaca. *Jurnal Tanah dan Iklim* 15: 50-60.
- , Sri Rochayati, Sutisni D., Eviati, dan J. Sri Adiningish. 1999. Peranan Hara S, Ca, dan Mg, dan Hara Mikro dalam Penanggulangan Pelandaian Produktivitas Lahan-lahan Sawah Intensifikasi. Laporan Penelitian: Bagian Proyek Penelitian Sumberdaya Lahan dan Agroklimat. Proyek Penelitian Sumberdaya Lahan dan Agroklimat (Tidak dipublikasikan).
- dan Sri Rochayati. 2003. Identifikasi kahat hara S, Ca, Mg, Cu, Zn dan Mn pada tanah sawah intensifikasi. Makalah diseminarkan pada Kongres HITI di Padang, 21-24 Juli 2003.
- Yusuf, A., S. Djakamihardja, G. Satari, dan S. Djakasutami. 1990. Pengaruh pH dan Eh terhadap kelarutan Fe, Al, dan Mn pada tanah sawah bukaan baru Oxisol Sitiung. hlm. 237-269 *dalam* Prosiding Pengelolaan Lahan Sawah Bukaan Baru Menunjang Swasembada Pangan dan Program Transmigrasi. Padang, 17-18 September 1990. Fakultas Pertanian Ekasakti dan Balai Penelitian Tanaman Pangan Sukarami.

6. PENGELOLAAN SIFAT FISIK TANAH SAWAH BUKAAN BARU

Ai Dariah dan Fahmuddin Agus

Pendahuluan

Sifat fisik tanah terutama yang berhubungan dengan tingkat efisiensi penggunaan air, merupakan salah satu parameter penentu kesesuaian lahan untuk sawah. Namun demikian, sawah bukaan baru umumnya belum mempunyai sifat fisik yang ideal untuk tanah sawah. Perkolasi tanah umumnya masih relatif tinggi karena lapisan tapak bajak belum terbentuk, menyebabkan tingkat efisiensi penggunaan air menjadi rendah.

Selama proses pembentukan sawah, sifat fisik tanah mengalami banyak perubahan. Proses reduksi dan oksidasi merupakan proses-proses utama yang dapat mengakibatkan perubahan baik sifat mineral, kimia, fisika, dan biologi tanah (Prasetyo *et al.*, 2004). Perubahan sifat fisik tanah juga banyak dipengaruhi oleh terjadinya iluviasi dan/atau eluviasi bahan kimia atau partikel tanah akibat proses pelumpuran dan perubahan drainase (Hardjowigeno *et al.*, 2004).

Pengelolaan sifat fisik tanah pada lahan sawah bukaan baru penting untuk mendapatkan kondisi fisik tanah yang ideal dan menekan berbagai dampak negatif yang bisa timbul. Proses pelumpuran, sebagai suatu cara pengolahan tanah yang spesifik untuk tanah sawah memberikan pengaruh positif dalam menciptakan media tanam yang cocok untuk padi, menekan perkolasi, serta mendukung pembentukan lapisan tapak bajak. Penggunaan varietas unggul dan peningkatan penggunaan pupuk serta bahan organik akan nyata berkontribusi terhadap peningkatan hasil, jika sifat fisik tanah dikelola dengan baik (Greenland, 1985).

Bab ini menguraikan (i) sifat fisik tanah sebagai penentu kesesuaian lahan untuk tanaman padi sawah dan penentu tingkat kesuburan tanah sawah; (ii) perlakuan atau manipulasi yang dapat berpengaruh terhadap sifat fisik tanah sawah bukaan baru; serta (iii) peluang dan kendala pencetakan sawah baru pada berbagai jenis tanah ditinjau dari aspek sifat fisik tanah.

Sifat Fisik Tanah Sebagai Penentu Kesesuaian Lahan untuk Padi Sawah

Sifat fisik tanah yang perlu dipertimbangkan dalam evaluasi lahan untuk pencetakan sawah baru antara lain adalah drainase, permeabilitas, tekstur, struktur (Keersebilck dan Soeprapto, 1985) dan tinggi muka air tanah (Sys, 1985). Sifat-sifat ini selain berhubungan dengan aspek produktivitas atau kesuburan tanah sawah, juga berhubungan erat dengan tingkat kemudahan untuk dilakukannya proses pelumpuran tanah, kemungkinan pembentukan atau terdapatnya lapisan tapak bajak, ketersediaan air, dan tingkat efisiensi penggunaan air pada tanah sawah. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat (Djaenudin *et al.*, 2003) telah menyusun kriteria kesesuaian lahan untuk berbagai komoditas pertanian termasuk untuk padi sawah irigasi dan tadah hujan (Lampiran 1 dan 2).

Drainase

Drainase merupakan pengaruh laju perkolasi air ke dalam tanah terhadap aerasi udara dalam tanah. Sys (1985) mengklasifikasikan lima kelas drainase tanah sawah (Tabel 1). Kondisi drainase yang dinilai paling cocok untuk tanah sawah tergantung pada jenis sawahnya (tadah hujan, rawa, atau irigasi).

Tabel 1. Kelas kemampuan lahan untuk sawah berdasarkan kelas drainase (Sys, 1985)

| Kelas drainase | Sawah tadah hujan | Sawah tergenang alami/rawa | Sawah irigasi |
|------------------|-------------------|----------------------------|---------------|
| Baik | S3 | N2 | S2 |
| Sedang | S2 | S3 | S1 |
| Agak terhambat | S1 | S2 | S1 |
| Terhambat | S2 | S1 | S2 |
| Sangat terhambat | N2 | S2 | S3 |

Keterangan: S1=sesuai, S2=agak sesuai, S3=sesuai marginal, N1=aktual tidak sesuai, potensial sesuai, N2=aktual maupun potensial tidak sesuai

Tanah yang sangat sesuai (S1) untuk dijadikan lahan sawah irigasi adalah yang mempunyai kelas drainase agak "terhambat" (Lampiran 1), yaitu

tanah yang mempunyai konduktivitas hidraulik agak rendah dan daya menahan air agak tinggi sampai tinggi, tanah basah sampai permukaan. Ciri yang dapat diketahui di lapangan, yaitu tanah berwarna homogen tanpa bercak atau karatan besi dan/atau mangan serta warna gley (reduksi) pada kedalaman ≥ 25 cm.

Potensi ketersediaan air pada lahan sawah tadah hujan relatif lebih terbatas dibandingkan dengan lahan sawah irigasi. Oleh karena itu, tanah yang dinilai paling sesuai untuk sawah tadah hujan adalah yang mempunyai drainase relatif lebih lambat, yaitu tanah yang mempunyai konduktivitas hidraulik rendah dan daya menahan air tinggi sampai sangat tinggi, dan tanah basah untuk waktu yang cukup lama sampai ke permukaan. Ciri yang dapat diketahui di lapangan, yaitu tanah mempunyai warna gley (reduksi) dan bercak atau sedikit karatan besi dan/atau mangan pada lapisan sampai permukaan.



Gambar 1. Tanah dengan tingkat drainase terhambat (kiri, foto: K. Nugroho) dan drainase cepat (kanan, foto:A. Dariah)

Tanah yang mempunyai kelas drainase cepat dinilai tidak sesuai baik untuk lahan sawah irigasi maupun untuk sawah tadah hujan. Manipulasi atau masukan teknologi untuk merubah sifat fisik tanah seperti ini akan terlalu sulit dan

lama dan/atau terlalu mahal. Tanah dengan kelas drainase cepat dicirikan oleh konduktivitas hidrolis tinggi sampai sangat tinggi.

Tanah yang mempunyai kelas drainase sangat terhambat (konduktivitas hidraulik mendekati nol) juga tidak sesuai untuk dijadikan lahan sawah, karena meskipun padi sawah tumbuh baik dalam keadaan tergenang, drainase pada tingkat tertentu masih sangat diperlukan. Meskipun beberapa tanaman padi toleran terhadap penggenangan selama 10 hari, namun sebagian besar mati setelah terendam 1-2 hari. Jadi jika kedalaman air lebih dari 30-35 cm, meskipun dalam waktu pendek, hasil panen tanaman padi mungkin akan sangat rendah atau mengalami gagal panen (Greenland, 1985).

Petani-petani di Cina menggunakan laju perkolasi atau penurunan permukaan genangan air pada lahan sawah sebagai kriteria penting untuk evaluasi tingkat kesuburan tanah sawah. Di Provinsi Jiang-su dan Shanghai, laju perkolasi pada tanah sawah subur berkisar antara 9-15 mm hari⁻¹, sedangkan di Provinsi Zhu-jiang River Delta berkisar antara 7-20 mm hari⁻¹. Produksi padi pada areal tanah tersebut berkisar antara 15-20 t ha⁻¹ (Chen Jian-fong dan Li Shi-ye dalam Greenland, 1985).

Pentingnya drainase pada lahan sawah berhubungan dengan *supply* oksigen (aerasi). Air permukaan yang mengandung banyak oksigen dapat masuk ke dalam tanah melalui perkolasi secara vertikal. Adanya *supply* oksigen dapat mencegah terjadinya potensial reduksi yang terlalu rendah, yang dapat menyebabkan tanaman keracunan besi dan mangan, asam organik tertentu, atau kadang-kadang sulfida.

Sebenarnya oksigen juga dapat masuk ke dalam tanah melalui aerenchym padi, namun demikian sebagian besar oksigen yang berasal dari aerenchym ini digunakan untuk respirasi akar tanaman padi dan hanya mempengaruhi bagian tanah yang bersentuhan langsung dengan akar. Deposit ferri hidroksida sering ditemukan pada permukaan akar dalam tanah yang tereduksi keras. Jika aliran oksigen tidak terjadi, kemungkinan tanaman akan menderita keracunan besi.

Perkolasi pada tanah sawah juga penting untuk mengatur suhu tanah, memperbaiki efisiensi penggunaan N, dan mencuci toksin (zat beracun) yang diproduksi oleh proses dekomposisi dalam keadaan an-aerob. Perkolasi sebesar 5-20 mm hari⁻¹ diperlukan untuk menghasilkan produksi padi yang tinggi, namun perkolasi yang melebihi 20 mm hari⁻¹ dapat menyebabkan tingginya pencucian hara (Lal, 1985), efisiensi penggunaan air juga menjadi rendah.

Permeabilitas (Konduktivitas hidraulik dalam keadaan jenuh)

Salah satu parameter (ukuran) yang dapat menggambarkan kemampuan tanah dalam melewati air disebut sebagai konduktivitas hidraulik (*Hydraulic conductivity*) (Klute dan Dirksen, 1986). Tingkat kemampuan tanah untuk melewati air sangat dipengaruhi oleh kadar air tanah. Oleh karena itu konduktivitas hidraulik tanah dibedakan menjadi dua yakni konduktivitas hidrolis dalam keadaan tidak jenuh dan dalam keadaan jenuh atau sering disebut sebagai permeabilitas tanah. Karena sawah seringkali dalam kondisi jenuh air, maka permeabilitas lebih relevan untuk dibahas.

Dalam penilaian kesesuaian lahan untuk padi sawah, permeabilitas tanah digunakan sebagai salah satu indikator tingkat drainase tanah. Tanah yang paling sesuai untuk dijadikan lahan sawah adalah tanah dengan tingkat permeabilitas agak rendah-rendah (Lampiran 1 dan 2). Emerson dan Foster (1985) menyatakan bahwa konduktivitas hidraulik dalam keadaan jenuh pada tanah sawah harus cukup rendah untuk mencegah hilangnya air, namun demikian masih cukup besar untuk mengalirkan (mencuci) bahan-bahan beracun. Klasifikasi tingkat permeabilitas tanah disajikan pada Tabel 2.

Berdasarkan perbedaan permeabilitas tanah Mitsuchi *dalam* Prihar (1985) mengemukakan adanya tiga jenis sawah, yaitu: (1) tanah sawah coklat, adalah tanah sawah yang berasal dari tanah yang mempunyai permeabilitas baik; (2) tanah sawah kelabu, adalah tanah sawah yang berasal dari tanah dengan permeabilitas lambat; dan (3) tanah sawah glei, adalah sawah yang berasal dari tanah dengan permeabilitas sangat lambat.

Tabel 2. Klasifikasi permeabilitas tanah menurut Uhland dan O'Neil *dalam* LPT (1979)

| Kelas | Permeabilitas |
|-------------------------------|----------------------|
| | cm jam ⁻¹ |
| Sangat lambat (sangat rendah) | <0,125 |
| Lambat (rendah) | 0,125-0,50 |
| Agak lambat (agak rendah) | 0,50-2,00 |
| Sedang | 2,00-6,25 |
| Agak cepat (agak tinggi) | 6,25-12,5 |
| Cepat (tinggi) | 12,5-25,00 |
| Sangat cepat (sangat tinggi) | >25,00 |

Tekstur

Tanah dengan tekstur halus-sedang (liat berpasir, liat, liat berdebu, lempung berliat, lempung liat berpasir, lempung liat berdebu, lempung berpasir sangat halus, lempung, lempung berdebu, dan debu) sesuai untuk dijadikan lahan sawah (Djaenudin *et al.*, 2003). Namun demikian Lal (1985) menyatakan bahwa yang paling sesuai untuk dijadikan sawah adalah tanah dengan kelas tekstur halus. Kawaguchi dan Kyuma *dalam* Lal (1985) melaporkan bahwa 40% tanah sawah di Asia Selatan dan Tenggara mengandung paling sedikit 45% liat. Secara lebih spesifik Grant *dalam* Prihar *et al.* (1985) menyatakan bahwa tanah-tanah dengan kandungan liat 25-50% pada lapisan tanah atas (*top soil*) dan tekstur yang sama atau lebih tinggi pada lapisan bawah (*subsoil*) sangat mendukung peningkatan hasil padi.

Dari segi pengelolaan tanah, tekstur pada lapisan permukaan lebih penting dibanding pada lapisan bawah permukaan (*subsurface*). Tanah yang lapisan permukaannya didominasi fragmen kasar sangat sulit untuk dilumpurkan. Sedangkan bila lapisan permukaannya berbatu, akan membatasi penggunaan alat-alat mekanisasi (Sys, 1985).

Tanah yang mempunyai kelas tekstur kasar (pasir, pasir berlempung) dinyatakan tidak sesuai untuk dijadikan sawah, karena tanah tersebut mempunyai

laju perkolasi yang tinggi, sehingga penggunaan air menjadi tidak efisien. Kehilangan hara pada tanah seperti ini juga menjadi tinggi. Namun tanah dengan tekstur kasar masih memungkinkan untuk dijadikan sawah, bila lapisan bawahnya bertekstur halus (Prihar *et al.*, 1985). Contoh tanah sawah yang terbentuk dari tanah bertekstur pasir terdapat di lahan Gunung Merapi di Yogyakarta (Rayes, 2000). Tanah sawah bertekstur kasar (berpasir), juga terdapat di Thailand dan Srilanka. Tanah bertekstur kasar tersebut merupakan sedimen pasir dengan lapisan bawah bertekstur liat (Lal, 1985).

Selain berhubungan dengan efisiensi penggunaan air, tektur tanah berpengaruh juga terhadap produksi padi. Dengan tingkat pengelolaan yang sama, Yahata (1976) menemukan bahwa tanah dengan tektur liat menghasilkan produksi padi lebih tinggi dibanding tanah bertekstur kasar.

Sruktur Tanah

Struktur tanah merupakan gumpalan-gumpalan atau agregasi dari tanah akibat melekatnya partikel-partikel atau butir-butir tanah satu sama lain. Gumpalan yang terbentuk karena proses alami disebut sebagai *ped* atau agregat tanah. Sedangkan gumpalan tanah yang terbentuk bukan karena proses alami (misalnya karena pencangkulan, tusukan pisau, dan sebagainya) dinamakan sebagai *clod* (bongkah).

Dalam hubungannya dengan produksi padi, struktur tanah seringkali dianggap sebagai faktor yang tidak penting untuk dipertimbangkan, karena pada kenyataannya struktur tanah dengan sengaja dihancurkan pada saat dilakukan pelumpuran. Namun demikian anggapan tersebut tidak sepenuhnya benar, Lal (1985) menyatakan bahwa perhatian terhadap struktur tanah pada tanah sawah masih penting, sehubungan dengan intensitas penggunaan lahan sawah dan penerapan sistem *multiple cropping*. Banyak lahan sawah yang tidak diusahakan untuk padi sawah sepanjang tahun, dan pada musim kedua atau ketiga sering digunakan untuk tanaman lahan kering semusim (palawija atau sayur). Struktur tanah yang tidak masif dan total porositas yang relatif tinggi sangat diperlukan oleh tanaman tersebut.

Untuk pertanaman padi, struktur tanah sebenarnya juga masih berperan penting, hasil studi di Cina dan beberapa tempat lainnya menunjukkan tanah-tanah sawah yang subur rata-rata mempunyai struktur tanah yang baik, dengan ratio pori kapiler dan non-kapiler yang sesuai. Jia-fang dan Shi-ye (1981) menunjukkan rasio pori aerasi terhadap total pori tanah sawah subur rata-rata 0,22 pada pF 2, dibandingkan dengan tanah sawah yang tidak subur yang nilai rasionya hanya 0,13 (Tabel 3). Keberadaan pori aerasi yang memadai dapat memfasilitasi pencucian unsur-unsur beracun, memperbaiki *supply* oksigen ke akar, dan meningkatkan penggunaan dan efisiensi penggunaan N. Hasil penelitian di India (Kar *et al.*, 1972, 1976, 1979 dalam Lal, 1985) mengindikasikan penetrasi akar tanaman padi terbesar terjadi pada tanah dengan porositas tinggi dan proporsi pori dengan radius > 75 μm yang juga tinggi.

Tabel 3. Porositas tanah pada lapisan permukaan tanah sawah dengan tingkat kesuburan tinggi dan rendah

| Kesuburan | Porositas | | Rasio pori aerasi terhadap total porosity |
|-----------|------------------------------------|------------------------|---|
| | Berisi air (<i>water filled</i>) | Berisi udara pada pF 2 | |
| | % | | |
| Rendah | 41,1 \pm 2,1 | 6,4 \pm 0,9 | 0,13 \pm 0,02 |
| Tinggi | 40,2 \pm 1,9 | 11,2 \pm 2,8 | 0,22 \pm 0,05 |

Sumber: Jia-fang dan Shi-ye (1981)

Pentingnya struktur tanah untuk dijadikan salah satu bahan pertimbangan dalam menilai kesesuaian lahan untuk sawah (Keersebilck dan Soeprapto, 1985) juga berhubungan dengan proses pelumpuran. Tanah yang mempunyai struktur yang kuat (stabilatas agregat tinggi) akan sulit terdispersi, sehingga proses pelumpuran menjadi sulit. Dalam Juknis Evaluasi Lahan (Djaenudin *et al.*, 2003), struktur tanah tidak dimasukkan dalam kriteria penilaian kesesuaian lahan untuk sawah, kemungkinannya karena tanah-tanah dengan agregat mantap dianggap masih dapat dilumpurkan dengan teknik pengolahan yang intensif. Namun karena struktur tanah bukan hanya berhubungan dengan aspek pelumpuran, maka struktur tanah merupakan sifat tanah yang perlu diperhatikan dalam mengevaluasi tingkat kesesuaian lahan untuk sawah.

Tinggi Muka Air Tanah

Usaha tani padi sawah membutuhkan air yang relatif tinggi dibanding budi daya tanaman lainnya. Kebutuhan air bisa dipenuhi dari air hujan, irigasi, dan/atau air tanah. Oleh karena itu tinggi muka air tanah penting untuk dievaluasi sehubungan dengan ketersediaan air, terutama bila karakteristik hidrologi dari lahan sawah yang akan dibuka merupakan sawah phreatik yaitu sawah dengan sumber air berasal dari air hujan dan air tanah.

Pada lahan sawah yang memiliki sistem irigasi, air juga tidak selalu tersedia cukup, misalnya bila debit air sungai sebagai sumber irigasi tidak mencukupi. Oleh karena itu, sebetulnya pada sawah tipe apapun ketersediaan air tanah merupakan faktor yang harus dipertimbangkan dalam melakukan evaluasi lahan, termasuk di daerah beririgasi. Subagyono *et al.* (2004) menyatakan bahwa identifikasi rejim kelembapan juga penting untuk membantu memformulasikan teknologi pengelolaan air. Tanah-tanah dengan rejim kelembapan aquic sangat berpotensi untuk dijadikan sawah non-irigasi (Eswaran, 1985) dan pelumpuran tidak terlalu penting untuk dilakukan (Sharma dan De Datta, 1985) karena ketersediaan air pada tanah-tanah ini tergolong tinggi.

Kanno (1956) membedakan tanah sawah berdasarkan kedalaman air tanahnya, yaitu: (1) tanah sawah dengan air tanah dangkal atau tergenang, disebut sebagai tanah sawah glei air tanah (*ground water gley rice soils*); (2) tanah sawah dengan kedalaman air sedang, disebut tanah sawah mirip glei peralihan (*intermediate gley-like rice soils*); dan (3) tanah sawah dengan air tanah dalam, disebut tanah sawah mirip glei air permukaan (*surface water gley-like rice soils*).

Sifat Fisik Tanah Sawah Bukaan Baru: Hubungannya dengan Aspek Pengelolaan

Meskipun sifat fisik tanah digunakan sebagai parameter dalam menilai kesesuaian lahan untuk sawah, namun kondisi fisik tanah sawah bukaan baru seringkali belum ideal; misalnya tingkat perkolasi tanah masih tinggi sehingga kehilangan air masih relatif besar. Pengelolaan khusus seperti pengolahan tanah intensif dalam keadaan basah (tergenang) beberapa tahun pertama semenjak

tanah disawahkan diperlukan untuk mempercepat proses pelumpuran dan pembentukan lapisan tapak bajak (Subagyono dan Agus, 1994).

Lebih dari 40% lahan sawah di Indonesia bisa ditanami padi sebanyak dua musim tanam, dan tidak sedikit yang hanya bisa ditanami satu musim tanam. Setelah masa tanam padi, banyak di antara lahan sawah tersebut yang masih mempunyai cukup air untuk ditanami tanaman semusim lahan kering seperti palawija atau sayur-sayuran. Namun demikian, akibat proses pelumpuran yang dilakukan saat dilakukan penanaman padi, kondisi struktur tanah seringkali menjadi kurang sesuai untuk pertumbuhan tanaman lahan kering, sehingga produksi tanaman tersebut menjadi rendah. Karena masalah tersebut, maka manipulasi struktur tanah (restrukturisasi) perlu dilakukan.

Manipulasi struktur tanah harus dilakukan secara cepat, karena masa tanam yang tersedia untuk tanaman lahan kering sangat terbatas sehubungan dengan faktor ketersediaan air, kompetisi dengan tanaman gulma, dan perlu diperhitungkannya waktu untuk persiapan tanam untuk musim tanam padi berikutnya. Selain tekstur tanah, faktor bahan organik tanah sangat menentukan mudah tidaknya restrukturisasi dilakukan. Menurut Moormen dan Van Breemen (1978) restrukturisasi tanah setelah pertanaman padi lebih sulit dilakukan pada tanah dengan kandungan bahan organik rendah (<0,6%) dibandingkan dengan tanah humik (yang tinggi kandungan bahan organiknya) dengan kondisi tekstur dan mineral liat yang sama.

Hal lain yang perlu diperhatikan adalah bahwa pada waktu tanah mulai disawahkan, perubahan sifat-sifat tanah termasuk sifat fisik tanah bukan hanya terjadi akibat proses pengolahan tanah atau pelumpuran dan penggenangan, namun juga terjadi saat proses pembentukan lahan sawah, misalnya akibat dari dilakukannya perataan tanah, pembuatan galengan, dan/atau pembuatan teras.

Pengaruh pembuatan/pembentukan lahan sawah terhadap sifat fisik tanah

Perataan dan pembuatan pematang merupakan aktivitas yang dilakukan pada awal pencetakan sawah. Bila sawah terdapat pada lahan berlereng dan pada lahan tersebut belum dilakukan penterasan, maka perataan dan pembuatan galengan biasa dilakukan bersamaan dengan pembuatan teras.

Teras dibuat dengan jalan memotong lereng dan meratakan tanah di bagian bawah sehingga terjadi suatu deretan berbentuk tangga atau bangku. Sebagai akibat pemotongan dan perataan tanah, tanah bagian bawah yang relatif kurang subur akan menjadi bidang olah atau areal pertanaman. Setelah dilakukannya penterasan, sifat fisik tanah pada bidang olah juga sangat ditentukan oleh lapisan yang muncul di permukaan. Lapisan tanah bawah permukaan umumnya juga mempunyai sifat fisik yang relatif lebih buruk.

Pada areal lahan kering dianjurkan selama paling sedikit 2-3 tahun setelah pembangunannya, perhatian yang cukup harus diberikan dalam pemberian bahan organik (Arsyad, 2000). Pada areal sawah hal ini seringkali tidak mendapat perhatian, padahal tidak semua unsur yang dibutuhkan tanaman padi dapat disediakan dari pupuk buatan. Kebutuhan bahan organik pada lahan sawah seringkali diabaikan karena fungsi bahan organik sebagai pendukung pembentukan struktur tanah seolah tidak diperlukan, padahal seperti telah diuraikan pada bagian 6.2.4 penting diperhatikan struktur tanah pada lahan sawah.

Selain berhubungan dengan pengelolaan struktur tanah, bahan organik juga berperan dalam meningkatkan efisiensi penggunaan air, karena kemampuannya dalam meningkatkan *water holding capacity* (kemampuan tanah dalam menahan/memegang air), Moormen dan Van Breemen (1978) melaporkan bahwa kandungan bahan organik yang tinggi dapat menurunkan stress kekeringan pada tanah sawah fluvial bertekstur pasir atau lempung kasar, yang didominasi mineral liat kaolinit.

Pengaruh pengolahan tanah/pelumpuran terhadap sifat fisik tanah sawah

Tekstur dan tipe mineral liat, struktur, dan kandungan bahan organik menentukan tingkat pengaruh dari pelumpuran terhadap perubahan sifat fisik tanah (Prihar *et al.*, 1985). Pelumpuran hanya sedikit berpengaruh atau bisa tidak berpengaruh terhadap sifat fisik tanah-tanah bertekstur kasar atau tanah yang mudah terdispersi, misalnya tanah bertekstur halus dengan ESP (*exchangeable sodium percentag* / persen pertukaran natrium) tinggi, atau tanah-tanah bersifat sodik. Pengaruh terbesar dari sistem pengolahan basah terhadap sifat fisik terjadi pada tanah bertekstur halus, dengan aktivitas liat tinggi, yang teragregasi bila dalam keadaan

kering. Dengan demikian, untuk mengefisienkan waktu dan biaya pengolahan yang mahal, maka penting untuk mengidentifikasi mana tanah yang sifat fisiknya bisa atau tidak bisa dimanipulasi dengan pengolahan basah (Lal, 1985).

Pada tanah-tanah yang sensitif terhadap perlakuan pelumpuran, dalam jangka pendek akan terjadi perubahan beberapa sifat tanah. Sharma dan De Datta (1985) menyatakan pengaruh jangka pendek (*short-term effect*) dari pelumpuran terhadap sifat fisik tanah diantaranya adalah terjadinya perubahan: struktur, bobot isi, ketahanan, dan porositas tanah, pertukaran udara (aerasi), serta retensi dan transmisi air. Penghancuran agregat dan bongkah tanah selain diakibatkan oleh perlakuan fisik saat dilakukan pengolahan tanah, juga disebabkan pada saat dilakukan pembasahan/penggenangan tanah, terjadi pengembangan agregat dan letupan udara terjebak.

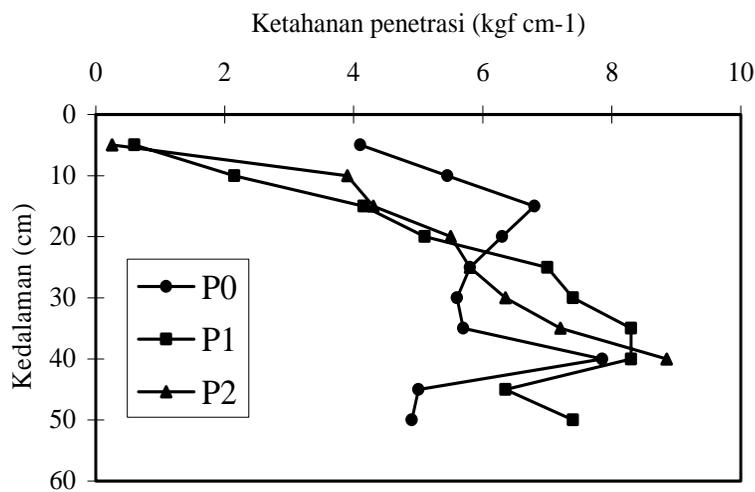
Pengaruh dari pelumpuran terhadap bobot isi tanah sangat ditentukan oleh tekstur dan jenis mineral liat tanah. Tabel 4 menunjukkan pengaruh dari pelumpuran terhadap bobot isi tanah dengan berbagai variasi tekstur dan jenis mineral liat. Intensitas pelumpuran juga berpengaruh terhadap tingkat penurunan bobot isi tanah.

Tabel 4. Pengaruh pelumpuran terhadap bobot isi tanah pada kedalaman 20 cm (Subagyono *et al.*, 2001)

| Tekstur tanah (mineral) | Bobot isi | | |
|--|--------------------------------|------|------|
| | P0 | P1 | P2 |
| | ————— g cm ⁻³ ————— | | |
| Liat (illitic) | 1,00 | 0,89 | 0,84 |
| Liat berdebu (mineral campuran) | 1,31 | 1,18 | 0,95 |
| Liat berpasir (mineral campuran) | 0,86 | td | 0,87 |
| Lempung liat berpasir (mineral campuran) | 1,33 | td | 0,98 |
| Lempung berdebu (mineral campuran) | 1,55 | 1,20 | 1,37 |

P0 = tidak diolah; P1= dilumpurkan sekali; P2= dilumpurkan dua kali; td = tidak diukur

Pelumpuran juga dilakukan untuk menciptakan media tanam yang sesuai untuk tanaman padi. Tanah yang telah dilumpurkan menjadi relatif mudah ditembus akar. Hasil penelitian Subagyono *et al.* (2001) menunjukkan bahwa tanah yang dilumpurkan memiliki ketahanan penetrasi yang lebih rendah hingga kedalaman < 25 cm dibandingkan jika tanah tidak dilumpurkan (Gambar 2).



Gambar 2. Pengaruh pelumpuran terhadap ketahanan penetrasi pada tanah liat berdebu (P0: tanpa pelumpuran; P1: pelumpuran sekali; P2: pelumpuran dua kali). Sumber: Subagyono *et al.* (2001)

Selain membuat kondisi tanah menjadi lebih sesuai untuk penetrasi akar tanaman padi, pelumpuran juga menyebabkan kemampuan tanah untuk melalukan air menjadi menurun meskipun sifatnya hanya sementara. Pada awal pencetakan sawah hal ini menjadi sangat penting, karena lapisan tapak bajak yang berperan sebagai penghambat aliran air atau perkolasi umumnya belum terbentuk. Tabel 5 menunjukkan pengaruh dari pelumpuran terhadap laju drainase.

Tabel 5. Pengaruh pelumpuran terhadap laju drainase dari enam sub-ordo tanah di Filipina (Lal, 1985)

| Tanah | Mineral | Kandungan liat % | Drainase | |
|---------|-----------------|---------------------|-----------------------|-------------|
| | | | Tidak dilumpurkan | Dilumpurkan |
| | | | cm hari ⁻¹ | |
| Psament | Silicieous | 9 | 267 | 0,45 |
| Fluvent | Campuran | 24 | 215 | 0,17 |
| Aquept | Montmorilonitic | 30 | 183 | 0,05 |
| Aqualf | Montmorilonitic | 40 | 268 | 0,05 |
| Ustox | Kaolinitic | 64 | 155 | 0,05 |
| Andept | Allophanic | 46 | 214 | 0,31 |
| Rerata | | | 217 | 0,18 |

Tingkat penurunan permeabilitas tanah akibat pelumpuran tergantung pada tekstur dan struktur tanah, mineralogi liat, kandungan bahan organik dan lain sebagainya. Pengalaman Prihar *et al.* (1985) pada tanah lempung berpasir dan pasir berlempung mengindikasikan bahwa pelumpuran menurunkan permeabilitas tanah lapisan permukaan secara drastis dan hal ini menyebabkan kondisi tanah sawah dapat dikelola dengan mudah setelah beberapa tahun pengelolaan lahan sawah. Pada tanah dengan permeabilitas sedang, setelah ditanami padi sawah selama 4 tahun, perkolasinya menurun sebesar 20% dibanding dengan saat awal, dan stabil pada sekitar 12 mm hari⁻¹. Pada tanah yang lebih bersifat permeable, dibutuhkan 6 tahun masa pengolahan sebagai tanah sawah untuk mencapai nilai permeabilitas sekitar 20 mm hari⁻¹. Lal (1985) menyatakan bahwa penurunan laju perkolasi dari tanah bertekstur kasar lebih efektif dilakukan dengan cara pemadatan dibandingkan dengan pelumpuran (Tabel 6).

Tabel 6. Pengaruh metode pengolahan tanah terhadap infiltrasi kumulatif dari tanah lempung berpasir (Ogunremi, Lal, dan Babalola *dalam* Lal, 1985)

| Metode pengolahan tanah | Infiltrasi kumulatif | | | |
|-------------------------|----------------------|----------|----------|-----------|
| | 10 menit | 50 menit | 90 menit | 120 menit |
| mm | | | | |
| Pemadatan | 25 | 42 | 47 | 55 |
| Pelumpuran | 29 | 48 | 57 | 57 |
| Tanpa olah | 34 | 61 | 73 | 87 |

Pelumpuran ditujukan juga untuk membentuk lapisan tapak bajak yang selanjutnya membantu mengurangi kehilangan air melalui perkolasi dan mengurangi kehilangan hara melalui pencucian (*leaching*) (Sharma dan De Datta, 1985). Pembentukan lapisan tapak bajak merupakan salah satu efek panjang dari pelumpuran (*long-term effect*), untuk mempercepat pembentukan lapisan tapak bajak pada lahan sawah bukaan baru perlu dilakukan berbagai perlakuan/manipulasi. Oleh karena itu, penting untuk dipelajari proses dan berbagai faktor yang berpengaruh terhadap pembentukan lapisan tapak bajak.

Proses dan Faktor-Faktor yang Berpengaruh terhadap Pembentukan Lapisan Tapak bajak

Pembentukan lapisan tapak bajak terutama penting pada daerah dengan rezim kelembaban tanah Ustik dan Udik, namun kurang penting pada tanah dengan rejim kelembaban Aquik (Greenland, 1985). Dengan demikian sifat dapat melumpur dan proses pelumpuran menjadi sangat penting untuk tanah dengan rejim kelembaban Ustik dan Udik yang akan dijadikan sawah.

Lapisan tapak bajak sangat berperan dalam mengurangi kehilangan air dan hara lewat perkolasi. Yun-Sheng *dalam* Lal (1985) menemukan bahwa meskipun bobot isi dan total porositas lapisan tapak bajak tidak secara drastis berbeda dengan lapisan olah, namun konduktivitas hidrauliknya sangat berbeda (Tabel 7). Lebih rendahnya konduktivitas hidraulik pada lapisan tapak bajak disebabkan oleh telah berubahnya pori-pori penghubung (*transmission pore*) menjadi pori kapiler.

Tabel 7. Perbandingan sifat fisik tanah antara lapisan olah dengan lapisan tapak bajak pada tanah sawah di Taihu Lake region, Cina (Yun-Sheng *dalam* Lal, 1985)

| Sifat fisik tanah | Lapisan olah | Lapisan tapak bajak |
|---|--------------|---------------------|
| Bobot isi (g cm ⁻³) | 1,20 ± 0,07 | 1,35 ± 0,09 |
| Porositas total (%) | 53,5 ± 2,6 | 50,0 ± 3,4 |
| Persen pori diameter >0,2 mm (%) | 11,5 ± 3,1 | 5,4 ± 2,3 |
| Persen pori diameter 0,2-0,01 mm (%) | 4,6 | 2,6 |
| Persen pori diameter <0,005 (%) | 35 ± 3 | 41 ± 3 |
| Konduktivitas hidrolik (cm hari ⁻¹) | 1040 | 1,7 |

Komposisi liat diperlukan untuk mengisi pori kecil di dalam tanah. Pada umumnya pelumpuran tanah merupakan proses pendispersian bongkahan dan agregat tanah menjadi butir liat debu dan pasir. Butir pasir dan debu lebih cepat mengisi bagian dasar dari lapisan olah dan selanjutnya butir liat secara perlahan akan mengisi pori tanah di antara butiran yang lebih kasar tersebut.

Pada umumnya tanah dengan kandungan liat tinggi mudah melumpur dan membentuk lapisan tapak bajak. Namun untuk Vertisols, walaupun mempunyai fraksi liat tinggi, sulit membentuk lapisan tapak bajak karena sifatnya yang mudah merekah di musim kemarau (dalam keadaan kering) (Greenland, 1985). Tipe liat juga sangat mempengaruhi lapisan tapak bajak. Mineral liat tipe 2:1 bersifat kohesif dan mudah melumpur, sedangkan tanah dengan tipe liat 1:1 tidak begitu kohesif dan tidak mudah melumpur (Eswaran, 1985).

Moormann dan van Breeman (1978) mengemukakan bahwa lapisan tapak bajak tidak terbentuk pada tanah-tanah berpasir, namun hasil penelitian Rayes (2000) di Yogyakarta menunjukkan bahwa pada tanah-tanah berpasir yang ditanami padi tiga kali setahun dijumpai lapisan tapak bajak, sedangkan pada sawah berpasir yang ditanami padi satu sampai dua kali setahun, lapisan tapak bajaknya berkembang menjadi lapisan padas besi/mangan. Hardjowigeno *et al.* (2004) menyatakan terbentuknya lapisan tapak bajak atau lapisan padas besi/mangan di daerah lahar, berhubungan erat dengan kandungan silika-amorf yang tinggi dalam air dan larutan tanah. Kandungan Si-amorf yang tinggi juga menyebabkan terbentuknya duripan, namun duripan juga dapat terbentuk pada lahan kering. Dengan kata lain duripan pembentukannya tidak disebabkan oleh penyawahan.

Tanah yang mempunyai stabilitas agregat yang tinggi akan sulit terdispersi. Agregat-agregat tanah yang utuh yang mempunyai ukuran sebesar butiran pasir dan bersifat menyerupai pasir (*pseudo sand*) tidak efektif dalam menutup pori tanah dan sulit membentuk lapisan tapak bajak. Sebaliknya tanah dengan agregat relatif kurang mantap akan mudah terdispersi menjadi butir tunggal sehingga fraksi liatnya akan efektif menutup pori, termasuk pori tanah pada lapisan tapak bajak.

Pola tanam dan/atau intensitas tanam juga berpengaruh terhadap pembentukan lapisan tapak bajak. Tanah yang ditanami padi tiga kali setahun

(padi-padi-padi), dalam arti mengalami pelumpuran sebanyak tiga kali setahun, akan dapat membentuk lapisan tapak bajak lebih cepat dibandingkan dengan tanah yang ditanami padi dua kali setahun (padi-padi-bera atau padi-padi-palawija), terlebih lagi jika dibandingkan dengan tanah sawah yang hanya ditanami padi satu kali dalam setahun. Sebagai salah satu contoh, hasil penelitian Rayes (2000) menunjukkan bahwa lapisan tapak bajak pada tanah berpasir merapi, hanya ditemukan pada areal yang ditanami tiga kali setahun.

Teknik pengolahan tanah juga sangat berpengaruh terhadap pembentukan lapisan tapak bajak. Hasil penelitian Munir (1987) menunjukkan bahwa penggunaan traktor berat untuk pengolahan tanah sawah dapat mempercepat pembentukan lapisan tapak bajak. Pada tanah Inceptisol Subang, lapisan tapak bajak setebal 20 cm dapat terbentuk dalam jangka waktu 20 tahun penggunaan traktor berat (5 t), sedangkan pengolahan tanah dengan traktor tangan (berat 200 kg), hanya menghasilkan lapisan tapak bajak setebal 2 cm dalam jangka waktu 20 tahun.

Peluang dan Kendala Pencetakan Sawah Baru pada Berbagai Jenis Tanah Ditinjau dari Aspek Sifat Fisik Tanah

Ultisols dan Alfisols mempunyai horizon Argilik yang ditandai dengan akumulasi liat. Ultisols dan Alfisols dengan rejim kelembapan Aquic tidak banyak mempunyai kendala untuk dijadikan sawah. Namun jika rejim kelembapan adalah Ustik atau Udik, lapisan tapak bajak biasanya akan dapat terbentuk di atas horizon Argilik dan pembentukan ini memerlukan waktu yang lama. Perkolasi lapisan tapak bajak yang terbentuk biasanya masih relatif tinggi, terutama pada beberapa tahun pertama sejak tanah tersebut dijadikan sawah. Untuk Oxisols pembentukan lapisan tapak bajak juga sulit terjadi (Eswaran, 1985) disebabkan oleh daya agregasi yang kuat oleh sesqui oksida.

Entisols yang berpotensi untuk dijadikan sawah adalah Aquepts, kecuali Hydraquepts yang mempunyai daya dukung (*bearing capacity*) yang rendah. Tanah-tanah ini biasanya berada pada dataran pasang surut dan sering mengalami banjir. Sulfaquepts mengandung pirit yang dapat menyebabkan tanahnya sangat masam bila mengalami oksidasi (didrainase). Psammaquepts

adalah tanah berpasir dengan muka air tanah yang dangkal. Pori air tersedianya sangat rendah, sehingga bila tidak ada *supply* air, tanaman yang tumbuh pada tanah ini akan mudah mengalami kekeringan (Eswaran, 1985).

Tabel 8. Interpretasi beberapa sifat fisik tanah dalam hubungannya dengan pencetakan sawah

| No Seri Tanah | Subgrup | Interpretasi Sifat fisik tanah untuk setiap seri tanah |
|----------------------------|-----------------------|---|
| Batulicin-Kalsel: | | |
| 1. Kosambi | Fluventic Dystrudepts | Horizon berstratifikasi, tekstur sedang |
| 2. Mekarsari | Typic Epiaquepts | Muka air tanah dangkal, tekstur halus |
| 3. Simpang | Aeric Epiaquepts | Mempunyai <i>perched water table</i> |
| 4. Mirih | Aeric Epiaquepts | Mempunyai <i>perched water table</i> |
| 5. Sarigadung | Kandic Plinthaquults | Mempunyai konkresi yang dapat mengeras, tidak mudah melumpur, muka air tanah dangkal, tekstur halus |
| 6. Batulicin | Kandic Plinthaquults | Mempunyai konkresi yang dapat mengeras, tidak mudah melumpur, muka air tanah dangkal, tekstur halus |
| 7. Kenari | Plintudults | Mempunyai konkresi, agregat mantap, tidak mudah melumpur |
| Sanggauledo-Kalbar: | | |
| 1. Sanggauledo | Anionic Acroperox | Agregat mantap, tidak mudah melumpur |
| 2. Lembang | Humic Acroperox | Agregat mantap, tidak mudah melumpur |
| 3. Transos | Typic Epiaquepts | Muka air tanah dangkal |
| 4. Nyabuk | Fluventic Dystrudepts | Horizon berstratifikasi, tekstur sedang |
| Merowi-Kalbar: | | |
| 1. Seke | Typic Hydraquents | Muka air tanah dangkal. Bila mengkerut tidak dapat balik |
| 2. Merowi | Fluventic Dystrudepts | Horizon berstratifikasi, tekstur agak kasar |
| 3. Semayang | Fluventic Dystrudepts | Horizon berstratifikasi, tekstur agak kasar |
| 4. Senajam | Typic Epiaquepts | Muka air tanah dangkal |
| 5. Robokan | Humic Epiaquepts | Muka air tanah dangkal, bahan organik tinggi, BD rendah, daya menahan beban rendah |
| 6. Tunggalbhakti | Aeric Epiaquepts | Mempunyai <i>perched water table</i> , mempunyai lapisan kedap air |
| 7. Tanjungbunga | Typic Paleudults | Agregat sangat mantap, tidak mudah melumpur |

Sumber: Subagyono dan Agus (1994)

Tanah Inceptisol mempunyai sifat fisik hampir sama dengan Entisols. Typic Trophaquents mempunyai muka air tanah dangkal dan Aeric Trophaquepts mempunyai muka air tanah di atas lapisan kedap air (*perched water table*). Ustrophepts sangat peka terhadap kekeringan. Tekstur sangat menentukan bisa atau tidaknya tanah ini dijadikan lahan sawah. Tanah yang hampir tidak mempunyai kendala untuk dijadikan sawah, baik dari sisi sifat fisik maupun kimia, adalah Mollisols (Eswaran, 1985). Subagyono dan Agus (1994) berdasarkan data hasil survei tanah memberikan daftar seri tanah, subgrup (*dalam Soil Taxonomy*) dan interpretasi data sifat fisik tanah dalam hubungannya dengan pencetakan sawah baru (Tabel 8). Menurut Eswaran (1985) sebagian informasi yang berhubungan dengan aspek manajemen dipresentasikan pada level seri tanah atau phase dari seri tanah.

PENUTUP

Sifat fisik tanah sawah merupakan aspek yang perlu diperhatikan dan dikelola dengan tepat, karena selain sangat menentukan efisiensi penggunaan air dan hara, juga sangat berpengaruh dalam menciptakan media tanam dan lingkungan yang sesuai bagi pertumbuhan tanaman padi dan tanaman lainnya yang ditanam setelah padi. Penggunaan varietas unggul dan penambahan input produksi (pupuk, obat-obatan, dan lain sebagainya) tidak akan berpengaruh secara nyata terhadap peningkatan produksi, jika sifat fisik tanah tidak dikelola dengan baik.

Pemahaman terhadap kondisi awal sifat fisik tanah sawah penting untuk dilakukan, selain untuk menentukan tingkat kesesuaian lahan untuk tanah sawah, juga untuk menentukan jenis atau tingkat manipulasi yang perlu dilakukan. Untuk menciptakan kondisi tanah sawah yang ideal, baik untuk tanaman padi maupun tanaman yang ditanam setelah padi, seringkali perlu dilakukan berbagai manipulasi atau perlakuan. Pengelolaan khusus seperti pengolahan tanah intensif dalam keadaan basah (tergenang) beberapa tahun pertama semenjak tanah disawahkan diperlukan untuk mempercepat proses pelumpuran dan pembentukan lapisan tapak bajak.

Setelah masa tanam padi, banyak lahan sawah yang diusahakan untuk tanaman palawija. Untuk menyediakan media tanam yang baik untuk tanaman

tersebut, manipulasi struktur tanah harus dilakukan secara cepat karena masa tanam untuk palawija yang sangat terbatas sehubungan dengan faktor ketersediaan air, kompetisi dengan tanaman gulma, dan perlu diperhitungkannya waktu persiapan tanam untuk musim tanam padi berikutnya. Selain tekstur tanah, faktor bahan organik tanah sangat menentukan mudah tidaknya restrukturisasi dilakukan. Oleh karena itu, pengelolaan bahan organik pada lahan sawah tidak kalah pentingnya dibandingkan dengan pada lahan kering.

DAFTAR PUSTAKA

- Asyad, S. 2000. Konservasi Tanah dan Air. IPB Press. Bogor.
- Djaenudin, D., Marwan H., H. Subagyo, A. Mulyani, dan N. Suharta. 2003. Kriteria Kesesuaian Lahan untuk Komoditas Pertanian. Balai Penelitian Tanah. Badan Litbang Pertanian.
- Emerson, W.W. and R. Foster. 1985. Aggregate classification and soil physical properties for rice-based cropping system. p. 235-244. *In* Soil Physics and Rice. International Rice Research Institute, Los Baños, Laguna, Philippines.
- Eswaran, H. 1985. Interpreting physical aspects of wetland soil management from soil taxonomy. p. 17-30. *In* Soil Physics and Rice. International Rice Research Institute, Los Baños, Laguna, Philippines.
- Greenland, D.J. 1985. Physical aspects of soil management for rice-based cropping system. p. 1-16. *In* Soil Physics and Rice. International Rice Research Institute, Los Baños, Laguna, Philippines.
- Hardjowigeno, S., H. Subagyo, dan M. Lutfi Rayes. 2004. Morfologi dan klasifikasi tanah. hlm. 1-28 *dalam* Tanah Sawah dan Teknologi Pengelolaannya. Pusat penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Badan Litbang Pertanian.
- Jia-fang Chen, and Li Shi-ye. 1981. Some characteristics of high fertility paddy soils. p. 20-30. *In* Proceeding of the Symposium on Paddy Soils. Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing, China.

- Kanno, I. 1986. A scheme for classification of paddy fields with special reference to mineral soils. *Bull. Kyushu Agric. Exp. Stn.* 4: 261-273.
- Keersebilck, N.C., dan S. Soeprapto. 1985. Physical measurement in lowland soils techniques and standardization. p. 99-112. *In Soil Physics and Rice.* International Rice Research Institute, Los Baños, Laguna, Philippines.
- Klute dan Dirksen, 1986. Hydraulic conductivity and diffusivity: Laboratory method. p. 687-732. *In Methods of Soil Analysis Part I. Physical and Mineralogical Methods. Second Edition (Ed. A. Klute)*
- Lal, R. 1985. Tillage in lowland rice-based cropping system. p. 283-308. *In Soil Physics and Rice.* International Rice Research Institute, Los Baños, Laguna, Philippines.
- LPT. 1979. Penuntun Analisa Fisika Tanah. Lembaga Penelitian Tanah. Badan Litbang Pertanian.
- Moormann, F.R., and N. van Breemen. 1978. Rice, Soil, Water, Land. IRRI Los Banos, Philippines.
- Munir, M. 1987. Pengaruh Penyawahhan terhadap Morfologi Pedogenesis, Elektrokimia dan Klasifikasi Tanah. Disertasi Fakultas Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Prasetyo, H.P., J. S. Adiningsih, K. Subagyo, dan R.D.M. Simanungkalit. 2004. Mineralogi, kimia, fisika, dan biologi lahan sawah. hlm. 29-82 *dalam Tanah Sawah dan Teknologi Pengelolaannya.* Pusat penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Badan Litbang Pertanian.
- Prihar, S.S., B.P. Ghildyal, D.K. Painuli, and H.S. Sur. 1985. Physical properties of mineral soils affecting rice-based cropping systems. p. 57-70. *In Soil Physics and Rice.* International Rice Research Institute, Los Baños, Laguna, Philippines.
- Rayes, M.L. 2000. Karakteristik, Genesis dan Klasifikasi Sawah Berasal dari Bahan Vulkan Merapi. Disertasi Program Pasca Sarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Sharma, P.K. and S.K. De Datta. 1985. Effect of puddling on soil physical properties and process. p. 217-234. *In Soil Physics and Rice.* International Rice Research Institute, Los Baños, Laguna, Philippines.

- Subagyono, K., A. Abdurachman, and Nata Suharta. 2004. Effect of puddling various soil type by harrow on physical properties of new developed irrigated rice areas in Indonesia. Proceeding of Subandiono, R.E. (Ed). Pedological Characteristics of Wetland Soils in North Palembang, Indonesia. MSc. Thesis. University of Philiines, Los Banos.
- Subagyono, K dan F. Agus. 1994. Sifat fisik tanah mineral di beberapa lokasi di Kalimantan dan hubungannya dengan pencetakan sawah. hlm. 143-153 *dalam* Suharta, N. (Ed.) Risalah Hasil Penelitian Potensi Sumber daya Lahan untuk Pengembangan Sawah Irigasi di Kalimantan dan Sulawesi. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Sys, C. 1985. Evaluation of the physical environment for rice cultivation. p. 31-44. *In* Soil Physics and Rice. International Rice Research Institute, Los Baños, Laguna, Philippines.
- Yahata, Y. 1976. Physical properties of paddy soils in relation their fertility. The Fertylity of Paddy Soils and Fertilizers Application for Rice. Food Fertilizers Technology Center, Asian Fasific Region, Taiwan.

Lampiran 1. Kriteria kesesuaian lahan untuk padi sawah irigasi

| Persyaratan penggunaan/ karakteristik lahan | Kelas kesesuaian lahan | | | |
|--|----------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|---------------------|
| | S1 | S2 | S3 | S4 |
| Suhu (tc) | | | | |
| Suhu rerata (°C) | 24 - 29 | 22 -24 29 - 32 | 18 - 22 32 - 35 | <18 >35 |
| Ketersediaan air (wa) | | | | |
| Kelembapan (%) | 33 - 90 | 30 - 33 | <30; >90 | |
| Media perakaran (rc) | | | | |
| Drainase | agak terhambat, sedang | terhambat, baik | sangat terhambat, agak cepat | cepat |
| Tekstur | halus, agak halus | sedang | agak kasar | kasar |
| Bahan kasar (%) | <3 | 3 - 15 | 15 - 35 | >35 |
| Kedalaman tanah (cm) | >50 | 40 - 50 | 25 - 40 | <25 |
| Gambut | | | | |
| Ketebalan (cm) | <60 | 60 - 140 | 140 - 200 | >200 |
| Ketebalan (cm), jika ada sisipan bahan mineral/ pengkayaan | <140 | 140 - 200 | 200 - 400 | >400 |
| Kematangan | saprik* | saprik, hemik* | hemik, fibrik* | fibrik |
| Retensi hara (nr) | | | | |
| KTK liat (cmol) | >16 | ≤16 | | |
| Kejenuhan basa (%) | >50 | 35 - 50 | <35 | |
| pH H ₂ O | 5,5 – 8,2 | 4,5 - 5,5 8,2 - 8,5 | <4,5 >8,5 | |
| C-organik | >1,5 | 0,8-1,5 | <0,8 | |
| Toksistas (xc) | | | | |
| Salinitas (dS/m) | <2 | 2 - 4 | 4 - 6 | >6 |
| Sodisitas (xn) | | | | |
| Alkalinitas/ESP (%) | <20 | 20 - 30 | 30 - 40 | >40 |
| Bahaya sulfidik (xs) | | | | |
| Kedalaman sulfidik (cm) | >100 | 75 - 100 | 40 - 75 | <40 |
| Bahaya erosi (eh) | | | | |
| Lereng (%) | <3 | 3 - 5 | 5 - 8 | >8 |
| Bahaya erosi | sangat rendah | rendah | sedang | berat |
| Bahaya banjir (fh) | | | | |
| Genangan | F0, F11, F12, F21,F23,F31,F32 | F13,F22,F33, F41,F42,F43 | F14,F24,F34, F44 | F15,F25,F35, F45 |
| Penyiapan lahan (lp) | | | | |
| Batuan di permukaan (%) | <5 | 5 -15 | 15- 40 | >40 |
| Singkapan batuan (%) | <5 | 5 -15 | 15- 25 | >25 |

Keterangan: saprik*, hemik*, fibrik* = saprik, hemik, fibrik dengan sisipan bahan mineral/ pengkayaan

Lampiran 2. Kriteria kesesuaian lahan untuk padi tadah hujan

| Persyaratan penggunaan/ karakteristik lahan | Kelas kesesuaian lahan | | | |
|--|--------------------------------|------------------------------|------------------------|--------------|
| | S1 | S2 | S3 | S4 |
| Suhu (tc) | | | | |
| Suhu rerata (°C) | 24 - 29 | 22 -24 29 - 32 | 18 - 22 32 - 35 | <18 >35 |
| Ketersediaan air (wa) | | | | |
| Curah hujan (mm) bulan ke-1 | 175 - 500 | 500 - 650 125 - 175 | 650 - 750 100 - 125 | >750 <100 |
| Curah hujan (mm) bulan ke-2 | 175 - 500 | 500 - 650 125 - 175 | 650 - 750 100 - 125 | >750 <100 |
| Curah hujan (mm) bulan ke-3 | 175 - 500 | 500 - 650 125 - 175 | 650 - 750 100 - 125 | >750 <100 |
| Curah hujan (mm) bulan ke-4 | 50 - 300 | 300 - 500 30 - 50 | 500 - 600 <30 | |
| Kelembapan (%) | 33 - 90 | 30 - 33 | <30 | >90 |
| Media perakaran (rc) | | | | |
| Drainase | Terhambat agak terhambat | Agak cepat, sedang, baik | Sangat terhambat | Cepat |
| Tekstur | Halus, agak halus, sedang | Halus, agak halus, sedang | Agak kasar | Kasar |
| Bahan kasar (%) | <3 | 3 - 15 | 15 - 35 | >35 |
| Kedalaman tanah (cm) | >50 | 40 - 50 | 25 - 40 | <25 |
| Gambut | | | | |
| Ketebalan (cm) | <60 | 60 - 140 | 140 - 200 | >200 |
| Ketebalan (cm), jika ada sisipan bahan mineral/ pengkayaan | <140 | 140 - 200 | 200 - 400 | >400 |
| Kematangan | Saprik | Saprik, hemik | Hemik, fibrik | Fibrik |
| Retensi hara (nr) | | | | |
| KTK liat (cmol) | >16 | ≤16 | | |
| Kejenuhan basa (%) | >50 | 35 - 50 | <35 | |
| pH H ₂ O | 5,5 - 8,2 | 5,0 - 5,5 8,2 - 8,5 | <5,0 >8,5 | |
| C-organik | >1,5 | 0,8-1,5 | <0,8 | |
| Toksistasitas (xc) | | | | |
| Salinitas (dS m ⁻¹) | <2 | 2 - 4 | 4 - 6 | >6 |
| Sodisitas (xn) | | | | |
| Alkalinitas/ESP (%) | <20 | 20 - 30 | 30 - 40 | >40 |
| Bahaya sulfidik (xs) | | | | |
| Kedalaman sulfidik (cm) | >100 | 75 - 100 | 40 - 75 | <40 |
| Bahaya erosi (eh) | | | | |
| Lereng (%) | <3 | 3 - 8 | >8 - 25 | >25 |
| Bahaya erosi | Sangat rendah | Rendah-sedang | Berat | Sangat berat |
| Bahaya banjir (fh) | | | | |
| Genangan | F0 - F12 F21, F22 | F13, F23, F41, F42 | F14, F24, F34, F43 | >F14 >F43 |
| Penyiapan lahan (lp) | | | | |
| Batuan di permukaan (%) | <5 | 5 -15 | 15- 40 | >40 |
| Singkapan batuan (%) | <5 | 5 -15 | 15- 40 | >25 |

7. PENGELOLAAN AIR SAWAH BUKAAN BARU

Haris Syahbuddin, Husein Suganda, dan Husnain

1. Pendahuluan

Lahan sawah seperti yang terlihat secara fisik di lapangan, didefinisikan sebagai lahan pertanian yang berpetak-petak dan dibatasi oleh pematang (galangan), saluran untuk menahan dan menyalurkan air dan ditanami padi sawah, baik terletak di punggung bukit maupun yang terletak pada dataran. Berdasarkan ketersediaan air, lahan sawah dapat dibedakan menjadi lima jenis, yaitu: lahan sawah berpengairan teknis, sawah berpengairan setengah teknis, lahan sawah berpengairan sederhana, lahan sawah berpengairan desa, dan lahan sawah tadah hujan. Lahan sawah berpengairan desa, tadah hujan, pasang surut, lahan sawah lebak, dan polder merupakan lahan sawah alami, yang terbentuk karena karakteristik fluktuasi dan ketersediaan muka air yang menggenangi sepanjang tahun atau *intermittent*. Ke lima tipe lahan sawah tersebut tidak dibuat secara mekanik dalam satu hamparan lahan kering (aerobik), akan tetapi telah ada sejak lama dengan kondisi penggenangan yang juga telah terjadi dalam kurun waktu yang panjang sesuai dengan kondisi agroekologi lokasi. Artinya meskipun terjadi penataan areal persawahan pada agroekologi tersebut, tidak terdapat perubahan mendasar terhadap neraca airnya. Dalam bab ini neraca air tipe lahan sawah alami tidak akan dibahas lebih jauh.

Lahan sawah bukaan baru adalah lahan sawah yang dicetak pada lahan kering untuk selanjutnya digenangi air dengan penataan air secara teknis. Permasalahan utama dalam manajemen air lahan sawah bukaan baru adalah laju kehilangan air melalui perkolasi dan *seepage* masih sangat besar akibat lapisan tapak bajak belum terbentuk. Pada tahap selanjutnya kehilangan air yang besar tersebut jika tidak dapat diatasi dapat mengakibatkan jeda kekeringan di tengah tengah fase pertumbuhan tanaman, baik pada lahan sawah tadah hujan maupun lahan sawah beririgasi. Permasalahan lain yang timbul akibat cepatnya laju kehilangan air tanah pada lahan sawah bukaan baru adalah efisiensi pemupukan rendah akibat pencucian (*leaching*) hara makro N, K, Ca dan Mg. Selain itu akibat proses penggenangan terjadi perubahan fisko kimia maupun

biologi tanah yang menyebabkan kelarutan beberapa unsur mikro yang bersifat meracun juga tinggi seperti konsentrasi Fe^{2+} yang bersifat meracun bagi tanaman. Ketiga permasalahan tersebut dapat menyebabkan kegagalan panen di lahan sawah bukaan baru. Keberhasilan menahan air selama mungkin dalam petakan sawah adalah kunci keberhasilan sistem budi daya padi pada lahan sawah. Oleh karena itu diperlukan pengembangan teknologi berbasis neraca air dalam mengelola air bagi keberhasilan usaha tani pada lahan sawah bukaan baru.

2. Prinsip Neraca Air Lahan Sawah

Dalam menggunakan air, pemahaman terhadap neraca air adalah kunci untuk mengendalikan setiap faktor *input* maupun *output* agar penggunaan air menjadi lebih efisien. Oleh karena itu, setiap pihak yang berkepentingan dalam menggunakan air harus menguasai dan mampu mengaplikasikan teknik neraca air secara komprehensif. Pada bagian ini akan diuraikan pengertian neraca air, metode perhitungan dan pemanfaatannya. Studi tentang neraca air sangat penting dilakukan untuk dapat mengkuantifikasi atau mengestimasi faktor utama yang mempengaruhi ketersediaan air di lapangan. Selain itu, kemampuan memahami dinamika komponen neraca air sangat bermanfaat untuk manajemen dan menggunakan air itu sendiri (Tabbal *et al.*, 1992). Kuantifikasi neraca air untuk padi sawah telah dilakukan oleh Kampen (1970), Mizutani *et al.* (1989) dan Watanabe (1992).

Secara sederhana neraca air (*water balance*, dan sekarang dikenal pula dengan istilah *water budget*) mempelajari keseimbangan antara air yang masuk dan air yang keluar dari suatu sistem, seperti petakan sawah dengan luasan tertentu. Dengan menguasai prinsip neraca air diharapkan para pengguna air dapat memperkirakan jumlah air yang dibutuhkan untuk sistem budi dayanya pada suatu petakan tertentu. Air yang masuk ke dalam petakan sawah disebut *input* faktor seperti: curah hujan (CH), air irigasi (I) dan atau air rembesan atau aliran air samping (*seepage*) (As). *Input* faktor biasanya diberi tanda positif. Sedangkan air atau uap air yang hilang dari lahan sawah disebut *output* faktor seperti: evapotranspirasi (Etc), infiltrasi pada lapisan dalam atau perkolasi (*deep*

percolation) (Pd) dan air limpasan (*outflow runoff*) (L). *Ouput* faktor biasanya bertanda negatif.

Secara umum neraca air padi sawah pada petak sawah pertama berdasarkan volumetrik air dirumuskan sebagai berikut:

$$\Delta S_{i1} = H_{(i-1)1} + \theta_{pi} - \theta_{qi} \quad (8-1)$$

di mana perubahan volume air yang terdapat pada petakan sawah pertama pada waktu ke i (ΔS_i) juga dipengaruhi oleh tinggi muka air pada satu waktu sebelumnya $i - 1$ ($H_{(i-1)1}$).

Nilai θ_{pi} dan θ_{qi} masing-masing merupakan volume air masuk dan keluar petakan sawah pada waktu ke i yang dihitung menggunakan persamaan di bawah ini:

$$\theta_{pi} = CH_i + I_i + As_i \quad (8-2)$$

$$\theta_{qi} = ETc_i + Pd_i + L_i \quad (8-3)$$

Untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air, maka kehilangan air melalui evapotranspirasi, perkolasi dan limpasan harus ditentukan secara lebih detail. Dengan demikian volume air yang keluar dari satu petakan sawah dapat diimbangi dengan tepat oleh volume air yang masuk dalam petakan sawah tersebut. Nilai ETc dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$ETc = ETo * Kc \quad (8-4)$$

Selanjutnya untuk menentukan kebutuhan air irigasi *real time* atau penjadwalan kebutuhan irigasi tanaman dengan aplikasi air berfrekuensi tinggi, maka nilai ETc harus dihitung berdasarkan nilai basal koefisien tanaman (Kcb) yaitu:

$$ETc = ETo * Kcb \quad (8-5)$$

Nilai Kcb dipengaruhi oleh nilai koefisien tanaman (Kc) dan koefisien evaporasi (Ke). Kedua nilai tersebut memiliki hubungan linear berbanding terbalik. Semakin besar tanaman atau masa tanam maka nilai Kc akan semakin besar dan sebaliknya dengan nilai Ke (Allen *et al.*, 1998). Jika ketersediaan data iklim cukup

lengkap, sebaiknya nilai ET_o dihitung menggunakan metode Penman-Monteith (FAO, 1992). Namun demikian bila ketersediaan data iklim terbatas hanya pada data suhu dan extraterrestrial radiasi nilai, ET_o dapat dihitung menggunakan metode Hargreaves *et al.* (1985). Namun demikian nilai rata-rata maksimum kehilangan air ke udara melalui ET_c di seluruh wilayah Indonesia tidak lebih dari $4,0 \text{ mm hari}^{-1}$ (Konsultasi pribadi dengan Dr. Istiqlal Amien).

Selain perhitungan di atas, untuk menentukan kebutuhan dan memperbaiki efisiensi pemanfaatan air irigasi dibutuhkan peralatan yang sederhana, murah dan mudah dioperasikan berdasarkan pendekatan meteorologi (Stanhill, 2002; Strangeways, 2001). Penggunaan Pan evaporimeter kelas A untuk menduga kebutuhan air irigasi dapat menggantikan perhitungan berdasarkan metode Penman-Monteith, seperti yang disarankan oleh FAO (Allen *et al.*, 1998). Akan tetapi sebaliknya, jika ingin menerapkan sistem usaha tani dengan teknologi tinggi dan memiliki jaringan stasiun iklim otomatis yang sangat baik, maka kebutuhan air dan peningkatan efisiensi penggunaan air irigasi dapat dilakukan berdasarkan perhitungan menggunakan metode Penman-Monteith.

Pada hamparan sawah yang sangat luas, terdiri atas beberapa petakan dan membentuk sekuensial pembagian air, dimana air yang disalurkan dari satu petakan pertama ke petakan berikutnya hingga petakan ke n dianggap sebagai volume air limpasan, baik yang disalurkan melalui saluran tertentu atau melewati pematang sawah (L_{i1}), maka persamaan (8-1) menjadi:

$$\Delta S_{in} = L_{i1} + H_{(i-1)n} + \theta_{p_i} - \theta_{q_i} \quad (8-4)$$

Untuk mendapatkan nilai tinggi air limpasan pada petakan ke n , maka nilai L_{in} dibagi dengan luasan areal petakan ke $n-1$.

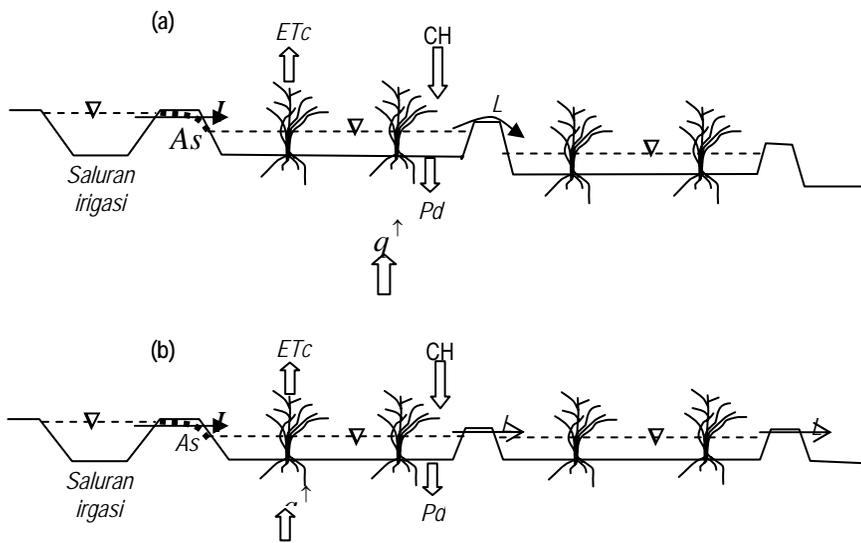
Pada lahan sawah bukaan baru dengan sifat fisik yang mendekati lahan kering, dapat dipastikan akan terdapat periode kering pada lapisan permukaan setelah pemberian air irigasi. Pada saat terdapat suplai air baik melalui irigasi maupun hujan, maka aliran air tanah akan bergerak ke lapisan yang lebih dalam. Ketika infiltrasi atau perkolasi nol dan kehilangan air tanah tinggi baik melalui evaporasi maupun transpirasi maka pergerakan aliran air tanah akan sebaliknya,

yaitu dari lapisan yang lebih dalam (zona jenuh) ke permukaan (zona tidak jenuh) (Ahmad *et al.*, 2002; Syahbuddin and Yamanaka, 2006), baik melalui gerakan kapiler pori tanah maupun akibat peranan akar tanaman dalam memompa air ke lapisan permukaan. Kedua proses yang terjadi secara simultan tersebut merupakan karakteristik tanah yang mengalami perlakuan irigasi secara intensif.

Konsekuensi kedua proses tersebut (pergerakan air ke bawah dan ke atas) akan berdampak terhadap perhitungan neraca air lahan sawah, terutama pada lapisan permukaan atau zona perakaran padi. Sumbangan aliran air dari zona jenuh (*phreatic/saturated/groundwater*) ke lapisan permukaan cukup signifikan dan tidak diabaikan. Penelitian di India pada lahan sawah di Pindi Bhattian, menunjukkan suplai air tanah dari *subsoil* (kedalaman 2 m) mencapai 3,93 cm hari⁻¹, sedangkan suplai air dari *phreatic surface* mencapai 5,24 cm hari⁻¹ pada saat infiltrasi nol (tidak ada suplai air irigasi atau hujan) (Ahmad *et al.*, 2002). Sedangkan pada lahan kering, suplai air dari lapisan tanah dengan kedalaman 120 cm berkisar antara 0,92-1,07 mm hari⁻¹ saat musim kering (Syahbuddin, 2006). Pada saat terjadi suplai air melalui irigasi dan atau curah hujan, persamaan (8-2) tidak mengalami perubahan. Akan tetapi ketika periode kering maka persamaan (8-2) menjadi:

$$\theta_{p_i} = q_{i-1}^{\uparrow} + A s_i \quad (8-5)$$

dimana q_{i-1}^{\uparrow} adalah suplai air dari subsoil atau *phreatic* zona pada satu satuan waktu sebelumnya. Skematik komponen neraca air lahan sawah seperti terlihat pada Gambar 1, masing-masing untuk lahan sawah di daerah dataran dan di daerah berlereng.



Gambar 1. Skematik komponen neraca air lahan sawah daerah berlereng (a) dan daerah datar (b).

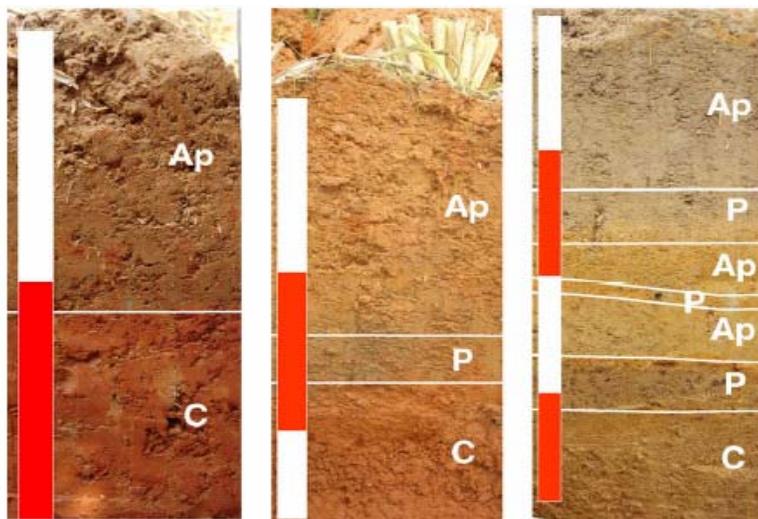
3. Peningkatan Efisiensi Penggunaan Air

Pada lahan sawah bukaan baru agregat tanah belum terlalu terdispersi dan proses agregasi masih dapat terjadi untuk membentuk sistem pori tanah kedua (*secondary pore system*). Kedua proses ini menyebabkan konduktivitas hidrolis tetap tinggi (Janssen and Lennartz, 2007). Dengan kata lain, lahan sawah bukaan baru masih memiliki sifat fisik tanah tidak jauh berbeda dengan lahan kering. Sifat fisik tersebut menyebabkan kehilangan air melalui infiltrasi masih sangat besar. Semakin lama usia penggunaan lahan sawah, laju infiltrasi akan semakin kecil. Selain itu, perbedaan profil yang signifikan antara lahan sawah yang diolah dua kali setahun pada tanah jenis *hydragric anthrosol* dan *anthric kambisol* selama 3, 20 dan 100 tahun (Gambar 2), menyebabkan perbedaan infiltrasi rata-rata geometrik yang sangat nyata, yaitu masing-masing sebesar 280, 7,9 dan 1,6 mm hari⁻¹ (Janssen and Lennartz, 2007).

Konsekuensi dari infiltrasi (I_i) yang tinggi menyebabkan volume air yang keluar melalui limpasan (L_i) dan digunakan untuk mengairi petakan sawah

berikutnya pada lahan berlereng akan semakin kecil. Akibatnya efisiensi penggunaan air bagi pengolahan tanah dan pertumbuhan tanaman akan semakin kecil pula. Oleh karena itu diperlukan upaya-upaya untuk meningkatkan efisiensi tersebut. Langkah awal yang sangat penting untuk meningkatkan efisiensi adalah mempercepat proses pembentukan lapisan kedap air (*hardpan* atau *tapak bajak*) guna menekan laju infiltrasi, serta pembentukan galengan yang juga kedap air guna menekan rembesan. Dengan demikian suplai kebutuhan air pada suatu petakan sawah dapat memenuhi kebutuhan tanaman setelah memperhitungkan laju kehilangan melalui perkolasi atau infiltrasi dan rembesan samping (*seepage*).

Hasil penelitian menunjukkan infiltrasi tidak menurun setelah 14 kali siklus antara pembajakan dan pemadatan (Liu *et al.*, 2005). Penelitian lain juga membuktikan bahwa proses pembentukan *hardpan* (*plough pan*) yang permanen membutuhkan waktu antar 10-20 tahun bahkan lebih bila tidak menggunakan mesin/mekanik untuk pengolahan tanah. (Walker dan Rushton, 1984; Janssen dan Lennartz, 2007). Gambar 2 menunjukkan perbedaan profil tanah dengan lama periode pengolahan yang berbeda.



Gambar 2. Profil horizon lahan sawah yang telah diusahakan selama 3 (a), 20 (b) dan 100 (c) tahun di Provinsi Jiangxi, China. Karakteristik iklim: hangat dan humid *subtropical* monsoon. Ap: lapisan olah *topsoil*; P: *hardpan*; dan C: *subsoil* (Sumber: Janssen and Lennartz, 2007)

Memperhatikan fakta tersebut, beberapa hal yang harus dilakukan guna meningkatkan efisiensi penggunaan air sebagai berikut:

1. Sejak awal perencanaan, pencetakan sawah hendaknya dilakukan pada tanah-tanah dengan kandungan liat tinggi, seperti pada tanah-tanah Latosol, Ultisol, atau pada tanah-tanah Alluvial, sehingga sejak awal pencetakan kehilangan air melalui perkolasi dan aliran lateral dapat diminimumkan. Demikian pula waktu yang dibutuhkan untuk membentuk lapisan kedap air (*hardpan*) menjadi lebih pendek.
2. Meningkatkan intensitas pelumpuran lahan sawah selama musim hujan tahun pertama tanpa dilakukan penanaman terlebih dahulu, dengan menerapkan periode kering dan basah setiap bulannya. Dengan demikian akan terdapat periode agregasi tekstur tanah untuk membentuk lapisan kedap.
3. Membuat galengan kedap air menggunakan tanah dari lapisan *subsoil* (umumnya mengandung liat tinggi) secara cermat, bila diperlukan bisa dilapisi dengan plastik, hingga lapisan bajak terbentuk.
4. Proses pembajakan disarankan menggunakan alat mekanik seperti hand traktor guna mempercepat proses pelumpuran sekaligus memberikan efek tekan untuk pemadatan lapisan kedap.
5. Menambahkan bahan organik atau kapur pertanian untuk mempercepat proses agregasi pada saat periode pengeringan sekaligus menekan Fe^{2+} yang bersifat meracun bagi tanaman (Sukristiyonubowo *et al.*, 1993).
6. Pintu *outlet* selama periode pelumpuran ditiadakan. Dengan kata lain setiap petakan diperlakukan sebagai satu sistem.
7. Membangun petakan sawah sesuai dengan jumlah curah hujan maupun ketersediaan air irigasi seperti tertera pada Tabel 1.

Pembatasan luasan petak sawah baru tersebut untuk mengimbangi laju infiltrasi yang tinggi. Artinya pada saat laju infiltrasi menurun sebesar 10 mm hari⁻¹, akan terdapat air limpasan yang akan digunakan pada petakan sawah lainnya sebesar 0,05 mm hari⁻¹ dari setiap 50 m² lahan sawah.

Tabel 1. Luas dan ukuran dimensi lahan sawah bukaan baru berdasarkan curah hujan atau volume air tersedia

| No. | Curah hujan mm dasarian ⁻¹ | Volume air m ³ ha ⁻¹ hari ⁻¹ | Luas sawah m ² | Dimensi sawah m x m |
|-----|--|--|------------------------------|------------------------|
| 1. | 10 | 10 | 50 | 10.0 x 5.0 |
| 2. | 20 | 20 | 100 | 10.0 x 10.0 |
| 3 | 30 | 30 | 150 | 10.0 x 15.0 |
| 4 | 40 | 40 | 200 | 10.0 x 20.0 |
| 5 | 50 | 50 | 250 | 20.0 x 12.5 |
| 6 | 60 | 60 | 300 | 20.0 x 15.0 |
| 7 | 70 | 70 | 350 | 20.0 x 17.5 |
| 8 | 80 | 80 | 400 | 20.0 x 20.0 |
| 9 | 90 | 90 | 450 | 25.0 x 18.0 |
| 10 | 100 | 100 | 500 | 25.0 x 20.0 |

Keterangan: Data diolah dengan asumsi laju infiltrasi sekitar 10-20 cm hari⁻¹ dengan tinggi galengan sekitar 20 cm

4. Pengaruh Sedimentasi Hara terhadap Pembentukan Lapisan Tapak Bajak Lahan Sawah Bukaak Baru

Adanya pembalikan dan pengolahan tanah secara terus-menerus setiap musim tanam, lama kelamaan membentuk lapisan tapak bajak. Faktor yang mempengaruhi cepat lambat terbentuknya lapisan padat tersebut antara lain bahan induk tanah dan kualitas air pengairan yang digunakan dalam pertanian. Air-air pengairan yang mengandung Si, basa-basa (Mg, Ca, K, dan Na), dan bahan logam berat (Mn, Fe, Pb, Cr, Cu, Zn, Hg, dan Cd) dengan konsentrasi tinggi, secara kumulatif akan mempercepat laju pembentukan lapisan padat. Hasil penelitian Widowati *et al.* (1997) pada tanah sawah bukaan baru (Ultisols) dari Bandar Abung, Lampung dan Tapin, Kalimantan Selatan menunjukkan bahwa (Fe, Mn) dan basa-basa (K, Ca dan Mg) mudah tercuci. Selain mudah tercuci unsur-unsur tersebut relatif cepat mengendap, menutupi pori makro dan mikro

tanah sehingga pergerakan air dalam tanah terhambat dan akhirnya tanah menjadi kedap/padat. Terbentuknya lapisan kedap tersebut dapat dipercepat dengan cara pengolahan tanah yang monoton, seperti pengolahan tanah dengan mekanisasi, misalnya menggunakan "hand traktor" dengan kedalaman olah tanah tertentu (< 15 cm).

Sedimentasi Si di sawah dari air irigasi baru asumsi saja, karena melihat model retensinya di Dam, sementara sawah juga bisa dikatakan sebagai model dam. Kemungkinan sedimentasi Si di sawah sangatlah kecil, terlebih pada lahan bukaan baru. Terdapat indikasi bahwa Si di lahan sawah intensif telah mengalami defisiensi, meskipun defisiensi Si belum ada laporannya di Indonesia Tetapi serangan penyakit blast yang selalu berulang dapat disebabkan kekurangan Si. Salah satu peranan Si terpenting adalah meningkatkan ketahanan akan penyakit. Defisiensi Si dapat disebabkan oleh beberapa hal antara lain, Si yang terangkut bersama panen sangat tinggi dan menguras Si tersedia di tanah, terutama terjadi pada lahan sawah intensif (2-3 kali tanam). Pemupukan Si yang tidak pernah dilakukan juga turut menyumbang rendahnya kandungan Si dalam tanah. Air irigasi di beberapa DAS di Jawa juga telah mengalami penurunan kualitas DSi (*dissolved silica*) terutama pada saluran irigasi, kanal Citarum hilir (*lower stream*) (Husnain, 2006). Karena Si yang di ambil dari air irigasi merupakan sumber kedua terbesar Si di tanah sawah setelah dari tanah, maka pada lahan sawah bukaan baru peranan Si tersedia dalam tanah menjadi salah satu unsur hara penentu percepatan pembentukan lapisan kedap. Kyuma (2004) menyatakan, Si tersedia dalam tanah di wilayah Indonesia masih cukup tinggi dibanding negara Asia lainnya. Pada lahan sawah intensif upaya pengembalian jerami ke lahan sawah dapat dijadikan solusi murah mempertahankan kandungan Si dalam tanah. Dibutuhkan penelitian lanjutan pengaruh pengembalian jerami padi terhadap pembentukan lapisan kedap dan kandungan Si tersedia dalam tanah.

Lapisan kedap/padat dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air untuk kebutuhan tanaman. Namun kadang-kadang terbentuknya lapisan padat tersebut justru menjadi kendala dalam upaya meningkatkan produktivitas tanaman apabila kedalamannya terlalu dangkal yaitu berkisar ≤ 10 cm dari permukaan tanah, sehingga menghambat pertumbuhan akar dan menurunkan hasil tanaman.

Dalam pengelolaan air pada sawah bukaan baru terbentuknya lapisan kedap memang dikehendaki agar efisien dalam penggunaan air. Ghildyal (1978) menyebutkan manfaat lapisan padat tersebut antara lain; dapat mengurangi laju air perkolasi, memudahkan pengolahan tanah sawah, meningkatkan hasil padi dan efisiensi dalam penggunaan air. Untuk mengatasi pengaruh buruk lapisan padat yang terlalu dangkal (≤ 10 cm) maka sewaktu-waktu tanah perlu diolah dalam. Manfaat pengolahan dalam berdasar hasil penelitian Sukmana *et al.*, (1975) pada Latosols Citayam yang lapisan Mn-nya dipecah dapat menghasilkan gabah $5,25 \text{ t ha}^{-1}$, sedangkan yang lapisan Mn-nya dibiarkan utuh, gabah yang dihasilkan hanya $4,01 \text{ t ha}^{-1}$.

Hasil penelitian Suganda *et al.*, 1992 menyebutkan bahwa pengolahan tanah dalam (30-35 cm) pada sawah irigasi (Ultisols) dapat meningkatkan hasil panen secara nyata terutama terhadap hasil palawija (kedelai) pada musim tanam/MT-2 (Tabel 2).

Sawah bukaan baru dapat berkembang menjadi: (i) lahan sawah irigasi apabila debit air irigasi masih cukup untuk pengairannya, atau bila mungkin dibangun bendungan baru dan (ii) lahan tadah hujan manakala ketersediaan air untuk tanaman semata-mata dari curah hujan. Keberlanjutan produktivitas lahan sawah bukaan baru dipengaruhi oleh pengelolaan air untuk memenuhi kebutuhannya yang didasarkan pada sumber air pengairan, jenis tanaman, dan sifat tanah serta ekosistem lahan sawah. Dalam uraian di bawah ini lahan sawah dikelompokkan ke dalam dua ekosistem, yaitu ekosistem lahan sawah irigasi dan ekosistem lahan sawah tadah hujan.

Tabel 2. Hasil gabah kering giling dan biji kedelai kering pada lahan sawah irigasi diolah biasa dan diolah dalam (30-35 cm)

| Perlakuan pada MT-1 | Hasil gabah kering giling t ha^{-1} | Perlakuan pada MT-2 *) | Hasil biji kedelai kering t ha^{-1} |
|---|---|--|---|
| Diolah biasa | 5,1 a | - | 0,77 a |
| Diolah biasa + dicampur hijauan (10 t ha^{-1}) | 5,1 a | Mulsa jerami (5 t ha^{-1}) | 1,11 b |
| Diolah dalam | 5,4 a | - | 0,99 b |
| Diolah dalam + dicampur hijauan jagung (10 t ha^{-1}) | 5,5 a | Mulsa jerami (5 t ha^{-1}) | 1,48 c |

Sumber: Suganda *et al.*, 1992

5. Pengelolaan Air Lahan Sawah Irigasi

Pengelolaan air pada lahan sawah irigasi dapat dibagi dalam dua kelompok: Pengelolaan air pada jaringan irigasi dan pengelolaan air dipetakan sawah petani. Pengelolaan air pada jaringan irigasi yang perlu diperhatikan adalah luas areal daerah irigasi dan debit air (yaitu jumlah air yang mengalir pada satuan volume dan waktu tertentu) yang dapat dialirkan dari sumber pengairan ke daerah irigasi (D.I.) tersebut. Debit air yang mengalir di daerah irigasi tidak selalu konstan tiap bulannya sepanjang tahun, tetapi tergantung dari pola curah hujan bulanan. Untuk mengatasi agar air pengairan dapat mencukupi kebutuhan air untuk seluruh wilayah/daerah irigasi sepanjang tahun, maka daerah irigasi tersebut dibagi ke dalam beberapa golongan pemberian air dan jadwal tanam.

Pengelolaan air di lahan petani yang bertujuan meningkatkan efisiensi penggunaan air tanpa mengurangi hasil gabah. Dengan pengelolaan air ini diharapkan kebutuhan air tanaman selalu tersedia dalam zona perakaran selama periode pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Hasil penelitian Kasno *et al.*, 1999 pada tanah sawah bukaan baru (Typic Hapludox) di Dwijaya, Tugumulyo, Musi Rawas, Sumatera Selatan menunjukkan bahwa bobot jerami dan hasil panen gabah antara pengairan kontinu (tinggi genangan 5 cm) dengan pengairan terputus (tinggi genangan 5 cm dan macak-macak bergantian (*intermittent*) setiap minggu tidak berbeda nyata (Tabel 3). Pengairan kontinu memerlukan air sebanyak 60.000 m³/musim tanam dengan tinggi genangan 5 cm, sedangkan pengairan macak-macak hanya memerlukan air sebanyak 6.000 m³/musim tanam dengan tinggi genangan 1 cm.

Tabel 3. Bobot jerami dan hasil gabah pada pengairan kontinu dan pengairan terputus di Dwijaya, Tugumulyo, Musi Rawas, Sumatera Selatan

| Sistem pengairan | Kebutuhan air | Bobot Jerami | Gabah kering giling |
|---|---|------------------------------|---------------------|
| | m ³ /musim tanam ¹⁾ | ———— t ha ⁻¹ ———— | |
| Pemberian air: | | | |
| - Kontinu (tinggi genangan 5 cm) | 60.000 | 4,0 a | 1,7 |
| - Terputus (bergantian genangan dengan macak-macak) | 6.000 | 4,2 a | 1,5 |

¹⁾ Data diolah dengan umur panen 120 hari
Sumber: Kasno *et al.* (1999)

Penelitian pengelolaan air pada lahan sawah irigasi di Terbanggi Besar, Lampung Tengah dengan tekstur tanah lempung liat berpasir sampai kedalaman 30 cm dan belum terbentuk lapisan kedap menunjukkan bahwa hasil gabah kering giling pada lahan sawah irigasi dengan genangan air 5 cm dibanding dengan 1 cm tidak berbeda nyata. Demikian pula dengan perbandingan hasil biji kering kedelai pada pemberian pengairan dua kali dan 40% air tersedia (Tabel 4). Penggenangan 1 cm selama pertanaman padi sawah dan pengairan hanya dua kali selama pertanaman kedelai masing-masing memiliki efisiensi penggunaan air lebih tinggi dibanding pengairan lainnya (Suganda *et al.*, 1992).

Tabel 4. Pengaruh pengairan terhadap hasil gabah kering giling, biji kedelai kering, dan efisiensi penggunaan air

| Pengairan | Hasil gabah kering giling | Efisiensi penggunaan air |
|-------------------------------|---------------------------|--------------------------|
| | t ha ⁻¹ | kg m ⁻³ |
| <u>Padi sawah (MT-1)</u> | | |
| Genangan 1 cm | 5,5 a | 4,15 |
| Genangan 5 cm | 4,9 a | 2,80 |
| Pengairan | Hasil biji kedelai kering | Efisiensi penggunaan air |
| | t ha ⁻¹ | kg m ⁻³ |
| <u>Kedelai (MT-2)</u> | | |
| Pengairan 2 kali sampai panen | 1,11 a | 7,20 |
| 40 % air tersedia | 1,06 a | 5,64 |

Sumber: Suganda *et al.*, 1992

6. Pengelolaan Air Lahan Sawah Tadah Hujan

Lahan sawah tadah hujan adalah lahan yang memiliki topografi berlereng mempunyai pematang/galengan dengan tinggi genangan berbeda. Pengelolaan air pada lahan sawah tadah hujan dapat dibagi dalam dua tahap: (i) tahap-1, menentukan jadwal dan teknik tanam yang disesuaikan dengan kondisi kelengasan tanah dan pola curah hujan/iklim setempat, sehingga kebutuhan air untuk pertumbuhan tanaman dapat terpenuhi sampai tanaman dipanen dan (ii) tahap-2, pengelolaan air dengan memperhitungkan varietas dan jenis komoditas

tanaman yang akan ditanam sehingga air cukup memenuhi kebutuhan tanaman selama periode pertanaman serta penggunaannya lebih efisien.

Sebagai contoh, pada daerah yang memiliki curah hujan tahunan rendah (≤ 1.750 mm) dengan periode hujan tergolong singkat, seperti di pantai utara Jawa Tengah (Kabupaten Pati, Rembang dan Blora), pengolahan tanah dilakukan pada musim kemarau (Agustus-September). Hujan pertama pada bulan September – Oktober. Umumnya petani menanam sawah tadah hujan dengan cara tanam benih langsung dengan tugal (sistem gogo), tapi manakala sudah sering hujan (biasanya sekitar 2-4 minggu setelah tanam) lahan dibiarkan dan diusahakan tergenang (rancah). Sistem ini disebut dengan *gogorancah*.

Untuk mengatasi rendahnya ketersediaan air dalam tanah pada saat tanam padi di lahan sawah, sistem *gogorancah* tersebut sudah umum dilakukan di wilayah Pantura Provinsi Jawa Tengah bagian timur dan NTB. Sedang untuk menghindari kekurangan air pada musim tanam kedua (Februari-Mei) terutama saat menjelang panen, diupayakan dengan mempercepat atau memperpendek waktu pengolahan dan persiapan tanah. Lahan hanya dicangkul untuk membalikkan tunggul jerami padi bekas pertanaman pada musim tanam (MT)-1, sehingga 2 hari setelah panen, sawah dapat ditanami padi kembali untuk MT-2 dengan cara "transplanting". Sistem pertanaman pada musim tanam kedua ini disebut *walik jerami*.

Lahan sawah bukaan baru di Pulau Jawa umumnya tersebar pada lahan berlereng dari atas sampai bawah pada suatu sekuen topografi. Toposekuen adalah posisi dari lahan dengan perbedaan tinggi tempat di atas permukaan laut secara berurutan dari suatu bentang lahan. Sifat tanah pada tiap posisi toposekuen berbeda disebabkan karena faktor topografi dan pembentuk tanah. Topografi mempengaruhi perkembangan tanah melalui peranan air, erosi, suhu, dan penutupan tumbuhan terhadap tanah. Sawah tadah hujan dapat berkembang dari posisi atas sampai ke bagian bawah dari toposekuen.

Lahan sawah bukaan baru yang berkembang menjadi sawah tadah hujan memiliki sifat tanah porous, sehingga dalam pengelolaan air pada lahan sawah tadah hujan selain perlu diketahui kehilangan air tanah akibat evapotranspirasi juga kehilangan air dari zona perakaran akibat merembes ke

lapisan bawah dan pergerakan air secara lateral/horizontal di bawah permukaan tanah (*seepage*). Suganda *et al.*, 2001 melaporkan laju perkolasi dan *seepage* dari lahan sawah tadah hujan di Kabupaten Pati dan Rembang (Tabel 5).

Tabel 5. Laju perkolasi dan “*seepage*” pada lahan sawah tadah hujan pada empat posisi toposekuen

| Posisi sawah pada toposekuen | Lokasi | | | | | |
|------------------------------|------------------------|-----|--------------------|-----|--------------------------|-----|
| | Megulung ^{*)} | | Jadi ^{*)} | | Sidomukti ^{**)} | |
| | Rata-rata | Sd | Rata-rata | Sd | Rata-rata | Sd |
| | mm hari ⁻¹ | | | | | |
| Atas | 4,2 | 3,3 | 4,4 | 2,9 | 3,6 | 2,3 |
| Tengah Atas | 1,9 | 1,9 | 3,6 | 3,1 | 4,6 | 3,3 |
| Tengah Bawah | 1,4 | 1,2 | 2,0 | 1,6 | 3,1 | 2,3 |
| Bawah | 1,6 | 1,0 | 1,6 | 2,1 | 1,8 | 2,0 |

^{*)} Kabupaten Rembang, ^{**)} Kabupaten Pati.
Sumber: Suganda *et al.*, 2001

Pada sawah di posisi atas toposekuen umumnya mempunyai laju perkolasi dan *seepage* lebih besar dibanding posisi bawah toposekuen, sehingga penggenangan sawah di posisi bawah toposekuen relatif lebih mudah dibanding di posisi atas. Lahan sawah pada toposekuen atas hanya mendapat suplai air dari curah hujan pada waktu i , sedangkan pada toposekuen dibawahnya akan mendapatkan pasokan air dari curah hujan itu sendiri pada waktu i , dan akan terus mendapat pasokan air dari sawah diatasnya pada waktu $i-1$, sesuai dengan volume limpasan, perkolasi, maupun *seepage*.

Adapun strategi pengelolaan air pada lahan berlerang tadah hujan sebagai berikut:

1. Luas petakan sawah bagian atas lebih kecil sesuai dengan jumlah perkolasi maksimal yg terjadi pada lahan bukaan baru, dimana 1 mm hujan = 10 m³ ha⁻¹ air (lihat Tabel 1).
2. Menekan laju perkolasi dengan mempercepat pembentukan hardpan melalui peningkatan intensitas pengolahan tanah seiring dengan peningkatan intensitas tanam.

3. Membuat petakan sawah dari atas hingga bawah pada waktu yang berbeda, minimal 1 tahun atau 2-3 musim tanam.
4. Memperkuat daya kedap galengan dari rembesan air.
5. Pengaturan pintu air, yang makin luas dengan semakin rendah posisi lahan sawah.

Hasil panen dari sawah yang berada pada bagian bawah toposekuen ternyata lebih tinggi dibanding posisi atas toposekuen (Suganda dan Tuong, 2004). Pada Tabel 6 disajikan rata-rata hasil jerami padi dan gabah kering giling pada empat posisi toposekuen pada sawah tadah hujan di Kabupaten Pati dan Rembang (Jawa Tengah).

Tabel 6. Hasil jerami dan gabah pada lahan sawah tadah hujan pada empat posisi Toposekuen di Kabupaten Pati dan Rembang (Jawa Tengah)

| Posisi sawah pada toposekuen | Hasil jerami (pada 3 % KA) | Hasil gabah kering giling (pada 14 % KA) |
|------------------------------|-------------------------------|---|
| | t ha ⁻¹ | |
| Atas | 5,7 b | 4,0 b |
| Tengah atas | 4,7 b | 4,1 b |
| Tengah bawah | 6,4 a | 5,0 a |
| Bawah | 7,1 a | 5,2 a |

Sumber: Suganda dan Tuong, 2004

7. Rancang Bangun Pematang

Pematang sawah secara teknis berfungsi sebagai penahan laju aliran permukaan dan sedimen pada lahan sawah. Selain itu pematang sawah juga berfungsi menjaga kelengasan tanah, sehingga perbedaan kelengasan tanah antara musim kemarau dan hujan menjadi nyata. Dengan demikian, pada musim hujan lahan sawah tergenang air atau jenuh air, sehingga musim tanam padi umumnya pada musim hujan. Sebaliknya musim kemarau lahan menjadi kering, meskipun demikian akibat adanya pematang dan lapisan kedap, lengas tanah di bawah permukaan tanah masih tinggi. Pengalaman menunjukkan, selama musim kemarau pada ke dalaman

20-30 cm, masih ditemukan adanya air permukaan. Pada pematang juga diletakkan pintu masuk (*inlet*) dan keluar air (*outlet*) dari petakan.

Selain itu secara sosial kultur pematang sawah juga berfungsi sebagai batas kepemilikan sawah dalam satu hamparan, selain berfungsi sebagai jalan bagi petani menuju sawahnya. Terutama bagi petani yang memiliki lahan sawah di tengah hamparan yang sangat luas, seperti di Indramayu dan Karawang.

Berdasarkan fungsi teknis dan sosial tersebut terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan dalam membuat pematang sawah, antara lain yaitu:

1. Dibangun sesuai batasan petak sawah masing-masing individu pemilik sawah.
2. Dibangun dengan menggunakan tanah lapisan *subsoil* atau tanah dengan kadar liat tinggi untuk menjamin daya kedap terhadap air dan tidak mudah runtuh atau rusak. Bila ketersediaan dana memungkinkan, pematang sawah dapat dibuat secara permanen, khususnya bagi pematang induk atau saluran sekunder.
3. Dibangun bukan dari bongkahan tanah, tapi dibangun dari tanah yang telah melumpur secara bertahap melalui periode pengeringan lapisan demi lapisan. Teknik ini berfungsi untuk meminimalisasi pori makro.
4. Membuat saluran *inlet* dan *outlet* menggunakan pipa PVC yang ditanam di dalam pematang, sehingga debit air yang masuk dan keluar akan konstan dan terhindari dari kerusakan. Untuk memastikan genangan air sesuai dengan anjuran, maka lubang *outlet* dibuat menghadap ke atas (*low drainage gate*), seperti pada Gambar 3. Bila tinggi genangan akan dibuat 10 cm maka pintu *outlet* dibuat setinggi 10 cm.
5. Pematang sawah tidak untuk ditanami, terutama tanaman berakar tunggang, karena perakaran tanaman dapat memicu terbentuknya pori-pori makro, yang dapat menyebabkan aliran samping (*seepage*) semakin besar.
6. Memiliki lebar dan tinggi sekitar 20 cm atau kira-kira tidak lebih 10% dari luas petakan sawah, dengan demikian pematang masih dapat dilalui untuk pejalan kaki dan jelas terlihat sebagai batas.
7. Perawatan dan pengontrolan pematang dilakukan sebulan sekali untuk memperbaiki pematang yang bocor, dijadikan sarang tikus atau rusak dan dibersihkan dari gulma. Dua kegiatan ini dapat dilakukan secara bergotong royong dengan penjadwalan yang diatur oleh kelompok tani.



Gambar 3. Skema *low drainage gate* pada petakan sawah

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, M.U. D, W. G. M. Bastiaanssen and R. A. Feddes. 2002. Sustainable use of Groundwater for Irrigation: A numerical analysis of the subsoil water fluxes. *Irrig. and Drain.* 51: 227–241.
- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes, and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirement. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Rome, Italy.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 1992. Expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements. FAO: Rome.
- Ghildyal, B.P. 1978. Effects of compaction and puddling on soil physical properties and rice growth. p. 317-336. *In* Soil and Rice. IRRI. Los Baños, Laguna. Philippines.

- Hargreaves, G.L., G.H. Hargreaves, and J.P. Riley. 1985. Agricultural benefits for senegal river basin. ASCE. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 111(2): 113-124.
- Janssen, M., and B. Lennartz. 2007. Horizontal and vertical water and solute fluxes in paddy rice fields. Soil & Tillage Research 94: 133-141.
- Kampen J. 1970. Water Losses and Water Balance Studies in Lowland Rice Irrigation. PhD Thesis. Cornell University: Ithaca, NY.
- Kasno, A., Sulaeman, dan Mulyadi. 1999. Pengaruh pemupukan dan pengairan terhadap Eh, pH, ketersediaan P dan Fe, serta hasil padi pada tanah sawah bukaak baru. Jurnal Tanah dan Iklim 19: 72-81.
- Kyuma, K. 2004. Paddy Soil Science. Kyoto University Press. 280 pp.
- Liu, C.W., W.S. Yu, W.T. Chen, and S.K. Chen. 2005. Laboratory investigations of plough sole reformation in a simulated paddy field. Journal of Irrigation Drainage Engineering 131: 466-473.
- Mizutani, M., P.K. Kalita, and D. Shinde. 1989. Effect of different rice varieties and mid term drainage practices on water requirement in dry season paddy—observational studies on water requirement of lowland rice in Thailand. Journal of Irrigation Engineering and Rural Planning 17: 6-20.
- Stanhill, G. 2002. Is the Class A evaporation pan still the most practical and accurate meteorological method for determining irrigation water requirements. Agricultural and Forest Meteorology 112: 233-236.
- Strangeways, I. 2001. Back to basics: the 'met.enclosure'. Part 7. Evaporation. Weather 56: 419-427.
- Suganda, H., A. Abas Id., dan H. Suwardjo. 1992. Pengaruh pengolahan tanah dalam, sisa tanaman dan irigasi terhadap efisiensi penggunaan air dan hasil padi-kedelai pada lahan sawah Ultisol di Daerah Irigasi Way Seputih Lampung. Jurnal Tanah dan Pupuk 10: 47-53.
- Suganda, H. dan T.P. Tuong. 2004. Farmer's practice and rice yields components at rainfed lowland rice. Puslitbangtan, Badan Litbang Pertanian. Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan 23 (3): 161-170.
- Suganda, H., E.P. Paningbatan, L.C. Guerra, and T.P. Tuong. 2001. Variability of Soil, Water Availability and Productivity of Rainfed Rice in Relation to Toposequence in Central Java, Indonesia. Master's Thesis. Univ. of the Philippines, Los Banos. Laguna Philippines.

- Sukmana, S., Suwardjo, S. Abujamin, dan T. Sudharto. 1975. Pengaruh pemecahan lapisan Mn dan cara pengolahan tanah terhadap pertumbuhan padi dan pemakaian air pada tanah Latosol. Bagian Konservasi Tanah dan Air. Lembaga Penelitian Tanah Bogor. No.1 / 1975.
- Sukristiyonubowo, Mulyadi, P. Wigena dan A. Kasino. 1993. Pengaruh penambahan bahan organik, kapur, dan pupuk NPK terhadap sifat kimia tanah dan hasil kacang tanah. *Pembr. Pen. Tanah dan Pupuk* 4 (11): 1-6.
- Syahbuddin, H. and Manabu D. Yamanaka. 2006. Soil water depletion of four soil layers in the Tropics. p. 213-218. *In* Wing, H. Ip. and N. Park (*Eds.*). *Advances in Geosciences Vol. 4: Hydrological Sciences (HS)*, World Scientific Pub., Singapore.
- Syahbuddin, H. 2006. An Experimental Investigation on Water Budget between Atmospheric Boundary Layer and Soil at Kototabang, West Sumatra, Indonesia. Doctoral Dissertation. Kobe University, Japan. 185 p.
- Tabbal, D.F., R.M. Lampayan, and S.I. Bhuiyan. 1992. Water efficient irrigation technique for rice. *In* Soil and Water Engineering for Paddy Field Management, Murty V.V.N., Koga K. (*Eds.*). Proceedings of the International Workshop, Asian Institute of Technology, Bangkok, January.
- Walker, S.H., Rushton, K.R., 1984. Verification of lateral percolation losses from irrigated rice fields by a numerical model. *J. Hydrol.* 71: 335–351.
- Watanabe, T. 1992. Water budget in paddy fields. *In* Soil and Water Engineering for Paddy Field Management. Murty V.V.N., Koga K. (*Eds.*). Proceedings of the International Workshop, Asian Institute of Technology: Bangkok, January 12-13, 1992.

8. PROSPEK PENGGUNAAN PUPUK HAYATI PADA SAWAH BUKAAN BARU

Rasti Saraswati dan Edi Husen

Pembuatan sawah (penyawahan) merubah sifat fisik, kimia, dan biologi tanah. Pemahaman terhadap proses perubahan ini merupakan modal utama dalam menentukan strategi pengelolaan sawah yang tepat, termasuk teknologi pemanfaatan pupuk hayati (pupuk mikroba) untuk meningkatkan produktivitas tanah, memperbaiki kualitas tanah, meningkatkan bahan organik, dan memelihara keanekaragaman hayati tanah sawah bukaan-baru.

Perubahan drastis tanah-tanah yang semula berupa lahan kering (*upland*) menjadi sawah berdampak pada aktivitas dan struktur komunitas mikroba sejalan dengan perubahan sifat fisik, kimia, dan sistem redoks tanah. Dampak perubahan dari kering ke basah ini mungkin tidak sama dengan tanah sawah-lama yang mengalami perubahan basah dan kering secara periodik. Namun sampai saat ini penelitian khusus perubahan sifat biologi tanah sawah bukaan-baru belum pernah dilaporkan, sehingga pendekatan untuk memahami perilaku lahan sawah bukaan-baru terkait dengan pemilihan teknologi pengelolaan dan pemanfaatan pupuk hayati yang sesuai tetap mengacu pada pendekatan konvensional sawah-lama.

Secara umum, mikroba terlibat hampir dalam semua proses kimia tanah sawah. Sekuen proses reduksi berbagai sistem redok yang menjadi kekhasan tanah sawah dimediasi oleh berbagai aktivitas mikroba meskipun perubahan struktur komunitasnya lebih banyak terkait dengan konsentrasi oksigen dan ketersediaan bahan organik (Bossio dan Scow, 1995; Patrick dan Reddy, 1978; Ludemann *et al.*, 2000). Berbagai hasil studi menunjukkan bahwa peningkatan kelembapan tanah mengurangi populasi aktinomisetes dan cendawan (fungi). Hasil studi mikroba tanah sawah di Jepang menunjukkan dominasi bakteri (aerob dan fakultatif anaerob) dibanding aktinomisetes dan cendawan dimana populasi cendawan menurun drastis menjelang minggu ketiga setelah penggenangan (Kyuma, 2004). Hasil ini menjadi indikasi pentingnya pemilihan jenis pupuk hayati atau inokulan mikroba yang tepat agar inokulan dapat hidup dan berkembangbiak di lingkungan tanah sawah dan memberi pengaruh positif bagi tanaman.

Saat ini, berbagai jenis pupuk hayati sudah banyak dipasarkan yang mencakup mikroba penambat N, pelarut P, pemacu tumbuh, dan perombak bahan organik (Husen *et al.*, 2007). Di dalam pupuk hayati tersebut terkandung berbagai jenis mikroba, antara lain dari genus *Lactobacillus*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Rhizobium*, *Azospirillum*, *Pseudomonas*, *Aspergillus*, *Trichoderma*, *Glomus*, dan beberapa bakteri fotosintetik. Namun tidak semua jenis mikroba ini cocok untuk tanah sawah, sehingga telaah pemanfaatannya sangat diperlukan.

STRUKTUR KOMUNITAS MIKROBA PADA MASA PENGGENANGAN TANAH

Penggenangan tanah merupakan faktor pengerak utama perubahan struktur komunitas atau pergantian dominansi kelompok mikroba pada tanah-tanah sawah dibanding faktor ketersediaan substrat atau pun suksesi alami seperti diuraikan Stahl *et al.* (2006). Penggenangan tanah menurunkan secara perlahan konsentrasi oksigen yang diikuti oleh proses reduksi berbagai komponen mineral sistem redok. Proses ini dimediasi oleh mikroba melalui transfer elektron yang dihasilkan dari proses metabolisme bahan organik. Berkurangnya oksigen menurunkan populasi mikroba aerob obligat dan meningkatkan populasi mikroba anaerob (fakultatif dan obligat). Oksigen dan nitrat yang pada tahap awal berperan sebagai penerima elektron, secara sekuensial digantikan oleh ion-ion Fe^{3+} , Mn^{3+} , SO_4^{2-} , CO_2 , dan berbagai produk disimilasi bahan organik. Produk reduktif yang dihasilkan secara sekuensial adalah N_2 , Mn^{2+} , Fe^{2+} , H_2S , CH_4 , dan asam-asam organik (laktat, asetat, dan butirir) yang diikuti oleh penurunan nilai potensial redoks (Eh) yang semula sekitar +380 mV menjadi -280mV (nilai ini bergantung karakteristik tanah dan lamanya masa penggenangan) (Tabel 1).

Tabel 1. Perkiraan nilai potensial redoks pada kondisi masing-masing komponen oksidatif utama menjadi tidak stabil di tanah tergenang

| Reduksi | Redoks potensial (mV) |
|--|-----------------------|
| $\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$ | +380 – +320 |
| $\text{NO}_3 \rightarrow \text{N}_2$, $\text{Mn}^{4+} \rightarrow \text{Mn}^{2+}$ | +280 – +220 |
| $\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$ | +180 – +150 |
| $\text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{S}^{2-}$ | -120 – -180 |
| $\text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_4$ | -200 – -280 |

Sumber: Patrick dan Reddy (1978)

Penurunan nilai Eh pada masa penggenangan meningkatkan pH tanah masam dan menurunkan pH tanah basis sampai mendekati pH 7 (Ponnamperuma, 1972; Patrick dan Reddy, 1978). Peningkatan pH pada tanah masam terkait dengan konsumsi H^+ dalam proses reduksi berbagai senyawa redoks yang jumlahnya jauh lebih besar dibandingkan dengan pelepasan H^+ dari oksidasi senyawa organik. Sedangkan penurunan pH pada tanah basis terkait dengan meningkatnya tekanan parsial CO_2 dari hasil dekomposisi bahan organik; semakin tinggi kadar bahan organik, semakin menurunkan pH. Perubahan pH mendekati nilai 7 dan kondisi reduktif ini meningkatkan ketersediaan fosfat yang semula banyak terikat pada Fe-P atau Al-P pada tanah masam dan Ca-P pada tanah basis (Ponnamperuma, 1972). Beberapa mikroba yang aktivitasnya tertekan pada tanah bereaksi masam atau basis meningkat pesat pada masa penggenangan (Kyuma, 2004).

Secara umum populasi bakteri jauh lebih dominan dibanding aktinomisetes dan cendawan pada tanah tergenang atau tereduksi (Gaunt *et al.*, 1995). Menurut Madigan *et al.* (2002) sebagian besar cendawan hidup pada habitat teresterial atau lahan kering. Hasil studi tanah sawah di Jepang menunjukkan dominasi populasi bakteri (aerobik dan anaerobik), pereduksi sulfat, dan pereduksi nitrat (*denitrifiers*) dibanding tanah kering (Tabel 2).

Tabel 2. Populasi dan distribusi grup fungsional mikroba pada tanah sawah dan tanah kering ($\times 10^4 g^{-1}$)

| Grup fungsional mikroba | Tanah sawah (n = 18) | | | Tanah kering (n = 26) | | |
|--|----------------------|-------|-------|-----------------------|-------|-------|
| | Lap-1 | Lap-2 | Lap-3 | Lap-1 | Lap-2 | Lap-3 |
| Aerobik | 3.000 | 1.310 | 837 | 2.185 | 628 | 164 |
| Aktinomisetes | 200 | 88 | 38 | 477 | 172 | 35 |
| Jamur | 8,5 | 1,6 | 0,6 | 23,1 | 4,3 | 1,1 |
| Anaerobik | 232 | 112 | 22 | 147 | 57 | 16 |
| Pereduksi sulfat | 7.9 | 1,6 | 0,4 | 0,1 | 0,06 | 3 |
| Pereduksi nitrat (<i>denitrifiers</i>) | 29,7 | 16,4 | 12,2 | 4,7 | 2,7 | - |
| Pengoksidasi amonium (<i>nitrifiers</i>) | 1,1 | - | - | 7,0 | 5,3 | 0,05 |

Sumber: Kyuma (2004)

n = jumlah contoh; lap = lapisan (kedalaman lapisan tidak disebutkan)

Populasi bakteri aerobik yang lebih tinggi pada lapisan atas tanah sawah (dibanding tanah kering) mengindikasikan adanya zona mikroaerofilik tempat berlangsungnya metabolisme aerobik berbagai senyawa yang berperan dalam transformasi sistem redoks. Perombakan bahan organik oleh berbagai bakteri heterotrof (bahan organik sebagai sumber energi) dengan menggunakan oksigen sebagai penangkap elektron menghasilkan CO_2 , H_2O , NH_4^+ dan energi yang besar ($\Delta G^\circ = -688 \text{ kcal mol}^{-1}$). Hasil metabolisme ini dan beberapa komponen tanah ditransformasi lebih lanjut oleh bakteri kemoautotrof (bahan kimia sebagai sumber energi dengan tingkat energi yang lebih rendah) menggunakan sisa-sisa oksigen sebagai penangkap elektron. Bakteri kemoautotrof ini mencakup bakteri nitrifikasi (pengoksidasi amonia dan nitrit), pengoksidasi mangan dan besi, pengoksidasi sulfur, pengoksidasi metan dan hidrogen. Secara ringkas beberapa contoh aktivitas bakteri kemoautotrof dalam transformasi berbagai senyawa dikemukakan Yoshida (1978) (Tabel 3).

Tabel 3. Peran bakteri kemoautotrof dalam transformasi berbagai senyawa kimia

| Bakteri kemoautotrof | Transformasi senyawa kimia |
|----------------------------|---|
| <i>Nitrosomonas</i> spp. | $\text{NH}_4^+ + (3/2)\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_2^- + 2\text{H}^+ + \text{H}_2\text{O}$ |
| <i>Nitrobacter</i> spp. | $\text{NO}_2^- + (1/2)\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^-$ |
| Bakteri pengoksidasi Mn | $\text{Mn}^{2+} + \text{O}_2 \rightarrow \text{MnO}_2$ |
| Bakteri pengoksidasi besi | $\text{Fe}^{2+} + 2\text{H}^+ + (1/4)\text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}^{3+} + (1/2)\text{H}_2\text{O}$ |
| <i>Thiobacillus</i> spp. | $\text{S} + (3/2)\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$ |
| <i>Beggiatoa</i> spp. | $\text{H}_2\text{S} + (1/2)\text{O}_2 \rightarrow \text{S} + \text{H}_2\text{O}$ |
| Bakteri pengoksidasi metan | $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ |
| <i>Hydrogenomonas</i> spp. | $\text{H}_2 + (1/2)\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$ |

Setelah oksigen habis digunakan, populasi mikroba aerob menurun drastis dan digantikan oleh mikroba anaerob fakultatif dan obligat. Dalam kondisi ini proses metabolisme berbagai senyawa berlangsung secara anaerobik. Bahan organik dirombak secara parsial oleh mikroba yang jalur lintasannya lebih kurang sama seperti pada kondisi aerobik sampai terbentuknya asam piruvat. Fermentasi asam piruvat oleh bakteri kemoautotrof anaerob menghasilkan berbagai senyawa organik kaya energi yang selanjutnya dirubah menjadi asam-asam organik,

alkohol, CO₂, H₂, amonia, dan energi yang jauh lebih rendah ($\Delta G^\circ = -23$ sampai -88 kcal mol⁻¹) (Madigan *et al.*, 2000). Metabolisme bahan organik oleh mikroba anaerob mengalirkan elektron untuk mereduksi berbagai senyawa mineral dan organik. Tidak tersedianya oksigen sebagai penerima elektron, maka berbagai produk hasil oksidasi pada kondisi aerob (nitrit, nitrat, besi (III), dan seterusnya) digunakan mikroba sebagai penerima elektron membentuk senyawa reduktif yang beberapa prosesnya dikemukakan Yosidha (1978) seperti disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Peran bakteri anaerob dalam mereduksi berbagai senyawa kimia

| Bakteri anaerob | Reduksi senyawa kimia |
|--|---|
| Denitrifikasi (reduksi nitrat) | NO ₃ ⁻ → N ₂ |
| Reduksi mangan | MnO ₂ → Mn ²⁺ |
| Reduksi besi | Fe ₂ O ₃ → Fe ²⁺ |
| Reduksi sulfat (<i>Desulfovibrio</i> spp.) | SO ₄ ²⁻ → HS ⁻ |
| Fermentasi metan (<i>Methanomonas</i> spp.) | CO ₂ → CH ₄ |

Hasil di atas menunjukkan bahwa penggenangan merubah struktur komunitas mikroba yang aktivitasnya merubah sifat kimia dan sistem redoks tanah. Saat ini dengan teknologi sekuen 16S rRNA, beragam jenis mikroba, termasuk yang tidak bisa dikulturkan (*non-culturable*), telah diidentifikasi dan terlibat dalam berbagai perubahan sifat kimia, fisika dan biologi tanah-tanah tergenang. Hasil studi Reichardt *et al.* (1997) pada sawah yang terus-menerus ditanami padi menunjukkan dominasi bakteri fermentasi dan metan (bakteri metanogen dan metanotrof) menjelang panen, khususnya di sekitar rizosfir. Ini menjelaskan mengapa rizosfir padi cenderung lebih reduktif pada kondisi defisien nitrogen seperti dilaporkan Kyuma (2004). Namun secara keseluruhan pergantian pola komunitas mikroba ditentukan oleh konsentrasi oksigen dimana dalam kondisi oksik kelompok bakteri dari kelas Proteobacteria (seperti *Burkholderia cepacia*, *Ralstonia pickettii*, *Sphingomonas*) mendominasi yang kemudian digantikan oleh kelompok bakteri klostridia (*Clostridium*) pada saat oksigen berkurang secara drastis (Ludemann *et al.*, 2000).

Genangan air pada tanah sawah merupakan habitat yang cocok bagi komunitas perairan, mikroba, gulma air, mikro dan makro fauna, meskipun interaksi

antar anggota komunitas perairan sawah masih sangat sedikit diketahui. Genangan air pada tanah sawah sangat berpengaruh terhadap proses metabolisme mikroba, sedangkan tanaman padi, termasuk akar dan rizosfir merupakan tempat aktivitas mikroba. Aktivitas mikroba dalam tanah sawah mengaktifkan proses biokimia di dalam tanah seperti pelarutan (solubilisasi), pengikatan (fiksasi), mineralisasi, imobilisasi, oksidasi dan reduksi, sehingga belakangan ini banyak mikroba yang dimanfaatkan untuk memperbaiki kesuburan tanah.

PRINSIP PEMANFAATAN DAN FUNGSI MIKROBA TANAH

Mikroba yang dimanfaatkan untuk meningkatkan kesuburan tanah dikenal sebagai pupuk hayati atau *biofertilizer* (pupuk mikroba = *microbial fertilizer*). Prinsip aplikasi pupuk hayati ialah menempatkan mikroba terpilih (inokulasi) pada biji (benih) atau perakaran (bibit) dalam jumlah banyak untuk menekan invasi mikroba pribumi (*indigenous*). Invasi dan kolonisasi awal dari mikroba yang berasal dari pupuk hayati (inokulan) akan meningkatkan daya saing mikroba tersebut terhadap mikroba pribumi, sehingga inokulan mempunyai kesempatan untuk membantu penyediaan hara dan meningkatkan pertumbuhan tanaman.

Berbagai manfaat yang dapat diperoleh dari penggunaan mikroba, adalah: (1) menyediakan sumber hara bagi tanaman; (2) melindungi akar dari gangguan hama dan penyakit; (3) menstimulir sistem perakaran agar berkembang sempurna dan memperpanjang usia akar; (4) memacu mitosis jaringan meristem pada titik tumbuh pucuk, kuncup bunga, dan stolon; (5) sebagai penawar racun beberapa logam berat; (6) sebagai metabolit pengatur tumbuh; dan (7) sebagai bioaktivator perombak bahan organik.

Mikroba tanah yang aktif merupakan dasar dari transformasi dan proses siklus hara untuk melanjutkan kehidupannya melalui berbagai proses biokimia dalam tanah dan mineralisasi hara yang selanjutnya berdampak terhadap kesuburan dan produktivitas tanah (Kennedy dan Gewin, 1997).

Pengaruh mikroba dalam membantu pertumbuhan dan perlindungan tanaman dapat secara langsung dan tidak langsung. Peran langsung mikroba terkait dengan kemampuannya menambat N_2 dari udara, melarutkan hara fosfat, dan menghasilkan fitohormon (seperti asam indol asetat, sitokinin, giberelin) untuk

memacu pertumbuhan tanaman. Sedangkan peran tidak langsung mikroba berhubungan dengan kemampuannya menghasilkan senyawa antibiotik atau antipatogen yang mampu menekan pertumbuhan mikroba patogen di lingkungan rizosfir. Namun keberhasilan pemanfaatan mikroba ini (pupuk hayati) sangat tergantung pada pemilihan mikroba yang sesuai dengan agroekosistem tempat mikroba ini diaplikasikan dan metode aplikasi yang tepat. Pemanfaatan mikroba yang sesuai dengan kondisi tanah, selain dapat meningkatkan kesuburan tanah, juga dapat meningkatkan efisiensi pemupukan dan produktivitas tanah serta mengurangi risiko bahaya pencemaran lingkungan.

MIKROBA BERMANFAAT PADA LAHAN SAWAH BUKAAN BARU

Berbagai jenis mikroba mempunyai keefektifan yang berbeda. Efektivitas ini sangat tergantung pada metode aplikasi dan mutu inokulan, sehingga standarisasi mutu pupuk hayati diperlukan agar penggunaannya lebih meningkat di tahun-tahun mendatang. Berikut ini dibahas empat kelompok mikroba yang bermanfaat bagi sawah bukaan baru.

(1) Bakteri Penambat Nitrogen

Bakteri penambat nitrogen sering disebut bakteri diazotrof ("diazot" untuk dinitrogen) yang mampu menggunakan N_2 dari udara sebagai sumber nitrogen untuk pertumbuhannya. Berbagai jenis bakteri penambat N_2 yang potensial pada tanah sawah, antara lain Sianobakteri (dahulu dikenal dengan nama ganggang hijau biru), bakteri foto-autotrofik pada air tergenang dan permukaan tanah, dan bakteri heterotrofik dalam tanah dan zona akar (Ladha dan Reddy, 1995; Boddey *et al.*, 1995; Kyuma, 2004). Bakteri tersebut mampu mengikat nitrogen dari udara secara simbiosis, non-simbiosis yang hidup bebas (*free-living dinitrogen-fixing bacteria*) atau asosiatif, dan hidup dalam jaringan tanaman (*endophytic bacteria*). Pemanfaatan bakteri penambat N_2 , baik yang diaplikasikan melalui tanah maupun disemprotkan pada tanaman mampu meningkatkan efisiensi pemupukan N. Penggunaan bakteri ini berpotensi mengurangi kebutuhan pupuk N sintetik, meningkatkan produksi dan pendapatan usaha tani dengan masukan yang lebih murah.

Bakteri penambat N₂ yang hidup bebas pada daerah perakaran dan bagian dalam jaringan tanaman padi, antara lain *Pseudomonas* spp., *Enterobacteriaceae*, *Bacillus*, *Azotobacter*, *Azospirillum* dan *Herbaspirillum* (James dan Olivares, 1997). Bakteri penambat N₂ pada rizosfir tanaman gramineae, seperti *Azotobacter paspali* dan *Beijerinckia* spp., termasuk salah satu dari kelompok bakteri aerobik yang mengkolonisasi permukaan akar (Baldani *et al.*, 1997). Selain itu, *Azotobacter* merupakan bakteri fiksasi N₂ yang mampu menghasilkan zat pemacu tumbuh giberelin, sitokinin, dan asam indol asetat, sehingga dapat memacu pertumbuhan akar (Alexander, 1977). Jenis bakteri penambat N₂ yang hidup bebas pada lahan sawah tertera pada Tabel 5.

Kelompok prokariotik fotosintetik, seperti Sianobakteri mampu mempertahankan kesuburan ekosistem pada kondisi alami lahan pertanian melalui kemampuannya mengikat N₂ (Albrecht, 1998). Beberapa jenis Sianobakteri, seperti *Anabaena azolae*, bersimbiosis dengan tanaman pakis air *Azolla pinnata* dan memberikan sumbangan yang besar terhadap kebutuhan N tanaman padi. Nitrogen yang diperoleh dari hasil simbiosis *Azolla-Anabaena* mencapai 20-100 kg N ha⁻¹ musim⁻¹, sedangkan tanpa bersimbiosis N₂ yang ditambat Sianobakteri adalah sekitar 10-80 kg N ha⁻¹ musim⁻¹ (Watanabe dan Liu, 1992). Demikian pula bakteri diazotrof endofitik yang hidup dalam jaringan tanaman dapat mengeksploitasi substrat karbon yang disuplai oleh tanaman tanpa berkompetisi dengan mikroba lain. Bakteri ini hidup di dalam jaringan akar atau berada pada jaringan yang kompak, seperti buku batang dan pembuluh xilem (James *et al.*, 2000), sehingga bakteri ini mampu tumbuh pada lingkungan dengan tekanan O₂ yang rendah yang sangat penting bagi aktivitas enzim nitrogenase (James dan Olivares, 1997). Beberapa bakteri diazotrof endofitik selain mampu mengikat N₂ juga mampu mensekresikan hormon pertumbuhan asam indol-3-asetat (Ladha *et al.*, 1997), dan umumnya tidak menyebabkan penyakit.

Bakteri diazotrof endofitik, *Herbaspirillum* yang diinokulasikan pada benih padi dalam larutan Hoagland yang mengandung ¹⁵N-label dapat meningkatkan 40% total nitrogen tanaman. Infeksi *Herbaspirillum* spp. pada biji tanaman padi terjadi melalui akar dan stomata, kemudian ditranslokasikan melalui xilem ke seluruh bagian tanaman (Olivares *et al.*, 1996).

Tabel 5. Berbagai jenis bakteri penambat N₂ yang hidup-bebas (non-simbiotik) pada tanah sawah (Kyuma, 2004)

| Bakteri penambat N | Contoh spesies |
|--|--|
| Bakteri | |
| 1. Bakteri fotosintetik | |
| - Rhodospirillaceae | <i>Rhodospirillum</i> , <i>Rhodopseudomonas</i> , <i>Rhodomicrobium</i> |
| - Chromatiaceae | <i>Chromatium</i> , <i>Ectothiorhodospira</i> , <i>Triospirillum</i> |
| - Chlorobiaceae | <i>Chlorobium</i> , <i>Chloropseudomonas</i> |
| 2. Bakteri Gram-negatif aerobik | |
| - Azotobacteriaceae | <i>Azotobacter</i> , <i>Azotomonas</i> , <i>Beijerinckia</i> , <i>Derxia</i> |
| - Pseudomonadeceae | <i>Pseudomonas</i> (<i>P. azotogensis</i>) |
| 3. Bakteri Gram-negatif anaerobik fakultatif | |
| - Enterobacteriaceae | <i>Klebsiella</i> (<i>K. pneumoniae</i>), <i>Enterobacter</i> (<i>E. cloecae</i>), <i>Escherichia</i> (<i>E. intermedia</i>), <i>Flavobacterium</i> sp. <i>Desulfovibrio</i> (<i>D. vulgaris</i> , <i>D. desulfuricans</i>) |
| 4. Bakteri Gram-negatif anaerobik | |
| 5. Bakteri pembentuk metan | |
| - Methanobacteriaceae | <i>Methanobacterium</i> , <i>Methanobacillus</i> |
| 6. Bakteri membentuk spora | |
| - Bacillaceae | <i>Bacillus</i> (<i>B. polymyxa</i> , <i>B. macerans</i> , <i>B. circulans</i>), <i>Clostridium</i> (<i>C. pasteurianum</i> , <i>C. butyricum</i>), <i>Desulfotomaculum</i> sp. |
| 7. Bakteri analog ke aktinomisetes | |
| - Mycobacteriaceae | <i>Mycobacterium</i> (<i>M. flavum</i>) |
| Ganggang hijau biru → Nama sekarang adalah Cyanobacteria* | |
| 1. Ganggang biru hijau membentuk <i>heterocyst</i> (tempat penambatan N) | |
| - Nostocaceae | <i>Anabaena</i> , <i>Anabaenopsis</i> , <i>Aphnizomenon</i> , <i>Aulosira</i> , <i>Chlorogloopsis</i> , <i>Cylindrospermum</i> , <i>Nostoc</i> |
| - Stigonemataceae | <i>Hapalosiphon</i> , <i>Mustigocladus</i> , <i>Stigonema</i> |
| - Scytonemataceae | <i>Microchaete</i> , <i>Scytonema</i> , <i>Tolypotrix</i> |
| - Rivulariaceae | <i>Calothrix</i> |
| 2. Ganggang biru hijau tidak membentuk <i>heterocyst</i> | |
| - Chloococcaceae | <i>Anacystis</i> , <i>Aphanothece</i> , <i>Gloecapsa</i> , <i>Gloeothece</i> , <i>Microcystis</i> |
| - Eentophysalidaceae | <i>Chlorogloea</i> |
| - Oscillatoriaceae | <i>Lyngbya</i> , <i>Oscillatoria</i> , <i>Phormidium</i> , <i>Trichodesmium</i> |
| - Scytonemataceae | <i>Plectonema</i> |

* Nama ganggang biru hijau saat ini sudah diganti menjadi Sianobakteri karena tergolong prokaryot (bakteri) yang berbeda dengan ganggang yang eukaryot.

Dalam upaya mencapai tujuan akhir strategi jangka panjang, penggunaan bakteri penambat N_2 berpotensi meningkatkan produksi dan pendapatan usaha tani padi. Penambatan N pada lahan sawah seperti dipublikasikan sebelum tahun 1980, rata-rata 27 kg ha^{-1} . Menurut Quispel (1974), jumlah total N yang ditambat pada lahan sawah sedunia dapat mencapai 4 juta t tahun⁻¹, yang mana 30 kg N ha^{-1} adalah hasil penambatan N_2 yang kurang lebih setara dengan 11% dari pupuk N yang diaplikasikan setiap tahunnya pada semua jenis tanaman di dunia pada saat itu. Berdasarkan analisis N pada permukaan tanah, penambatan N_2 lahan sawah mencapai $25\text{-}35 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$ (Ono dan Koga, 1984), sedangkan menurut Ito (1977), berdasarkan studi keseimbangan N selama lebih dari 70 tahun diperoleh rata-rata pengkayaan N pada permukaan tanah $38,5 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$ pada plot tanpa pemupukan, dan $39,6 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$ pada plot yang diberi kapur. Roger dan Ladha (1992) mengemukakan bahwa kandungan N pada lahan sawah irigasi, $80\text{-}110 \text{ kg N ha}^{-1}$ diperoleh dari penambatan N_2 , air irigasi dan presipitasi, sedangkan $10\text{-}20 \text{ kg N ha}^{-1}$ tertinggal di akar, biji, dan jerami.

Salah satu pendekatan alternatif pemanfaatan bakteri diazotrof hidup-bebas adalah penggunaan pupuk hijau tanaman penambat N_2 , seperti *Sesbania rostrata*, *Aeschynomene*, dan *Azolla pinata* sebagai penyumbang N yang tinggi pada lahan sawah (Ladha dan Reddy, 1995).

Pemanfaatan tanaman *Sesbania* di sawah dilakukan untuk memperoleh sebagian N yang dibutuhkan melalui hubungan simbiotik dengan rhizobia. Tanaman ini beradaptasi baik pada lahan sawah, mampu tumbuh cepat dan tahan kondisi tergenang, serta mampu menambat N_2 melalui bintil batang seperti halnya bintil akar (Saraswati *et al.*, 1992; Matoh *et al.*, 1992). *S. rostrata* mampu menghasilkan biomassa kering $16,8 \text{ t ha}^{-1}$ selama 13 minggu dan mengandung 426 kg N ha^{-1} ; 75% N dan >60% P diakumulasi pada daun. Pemberian hijauan *S. rostrata* setara 45 kg N ha^{-1} dengan kombinasi pupuk N sebanyak 60 kg N ha^{-1} dapat meningkatkan hasil padi sebesar 24% (Tabel 6).

Pemanfaatan *Azolla* segar $1,25 \text{ t ha}^{-1}$ pada tanaman padi mendekati pemupukan N sebanyak $150 \text{ kg urea ha}^{-1}$. *Azolla* dapat mensubstitusi sebagian besar kebutuhan N tanaman, meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK) serta kandungan bahan organik tanah (Tabel 7).

Tabel 6. Pengaruh pupuk N dan *Sesbania rostrata* pada padi sawah di Vertisols Jawa Timur

| Perlakuan pupuk N | Takaran pupuk | | Hasil |
|-------------------------------|-------------------------------|------------------|--------------------|
| | P ₂ O ₅ | K ₂ O | |
| | kg ha ⁻¹ | | t ha ⁻¹ |
| 60 | 45 | 30 | 3,7 |
| 60 + <i>Sesbania rostrata</i> | 45 | 30 | 4,6 |
| 120 | 45 | 30 | 4,1 |
| LSD 0,05 | | | 0,6 |

Sumber: Adiningsih dan Rochayati (1988)

Tabel 7. Pengaruh *Azolla* sp. terhadap hasil padi sawah, KTK, dan kandungan C-organik pada Inceptisols di Jawa Barat

| Perlakuan | Hasil padi | KTK | C-organik |
|---|--------------------|-----------------------------|-----------|
| | t ha ⁻¹ | me 100g tanah ⁻¹ | % |
| N-urea (150 kg ha ⁻¹) | 4,3 | 13,3 | 2,8 |
| <i>A. microphylla</i> | 3,0 | 27,3 | 5,6 |
| <i>A. pinnata</i> | 3,8 | 24,4 | 5,7 |
| <i>A. microphylla</i> + <i>A. pinnata</i> | 3,3 | 22,5 | 5,5 |

Sumber: Prihatini dan Komariah (1988)

(2) Rizobakteri Penghasil Zat Pemacu Tumbuh

Pertumbuhan tanaman merupakan proses yang dinamis dan kompleks yang dikendalikan oleh suatu substansi pemacu tumbuh tanaman (fitohormon) yang ditranslokasikan ke dalam jaringan tanaman, sehingga mempengaruhi pertumbuhan, diferensiasi jaringan dan organ.

Beberapa spesies bakteri rizosfir (di sekitar perakaran) yang mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman sering disebut *plant growth promoting rhizobacteria* (PGPR) atau rizobakteri pemacu tumbuh tanaman (RPTT). *Acetobacter diazotrophicus* dan *Herbaspirillum seropedicae* mampu memproduksi

asam indol-3-asetat (AIA) yang berperan memacu pemanjangan sel, pembelahan sel, dominansi apikal, inisiasi akar, diferensiasi jaringan vaskuler, dan biosintesis etilen (Chasan, 1993; Bastian *et al.*, 1998). Peningkatan pertumbuhan tanaman dapat terjadi ketika rizobakteri memproduksi metabolit yang berperan meningkatkan pertumbuhan tanaman (Tien *et al.*, 1979; Schroth dan Weinhold, 1986; Maor *et al.*, 2004). Metabolit yang dihasilkan dapat berupa fitohormon, antibiotik, siderofor, sianida, dan lain sebagainya. Fitohormon atau hormon tumbuh yang diproduksi dapat berupa auksin, giberelin, sitokinin, etilen, dan asam absisat.

Bakteri pemacu tumbuh secara tidak langsung juga mampu menghambat patogen melalui sintesis senyawa antibiotik, sebagai kontrol biologis. Beberapa jenis endofitik bersimbiosis mutualistik dengan tanaman inangnya dalam meningkatkan ketahanannya terhadap serangga hama melalui produksi toksin, selain senyawa anti mikroba seperti cendawan *Pestalotiopsis microspora* dan *Taxus walkchiana* yang memproduksi taxol (zat anti kanker). Miles *et al.* (1998) melaporkan bawa endofitik *Neotyphodium* sp. menghasilkan *N-formilonine* dan *apaxiline* (senyawa anti serangga hama).

(3) Mikroba Pelarut Fosfat

Salah satu alternatif untuk meningkatkan efisiensi pemupukan fosfat dalam mengatasi rendahnya fosfat tersedia atau kejenuhan fosfat dalam tanah adalah dengan memanfaatkan mikroba pelarut fosfat yang dapat melarutkan fosfat tidak tersedia menjadi tersedia bagi tanaman. Namun seperti dikemukakan di atas, pelepasan fosfat dari besi fosfat pada tanah-tanah tergenang dapat terjadi melalui proses reduksi besi, sehingga dapat meningkatkan ketersediaan fosfat bagi tanaman. Meningkatnya ketersediaan P pada tanah tergenang juga menjelaskan mengapa padi sawah memerlukan pupuk P yang relatif rendah (Alexander, 1977).

Berbagai jenis mikroba pelarut fosfat, seperti *Pseudomonas*, *Micrococcus*, *Bacillus*, *Flavobacterium*, *Penicillium*, *Sclerotium*, *Fusarium*, dan *Aspergillus* berpotensi tinggi dalam melarutkan fosfat terikat menjadi fosfat tersedia dalam tanah (Alexander, 1977; Illmer dan Schinner, 1992; Goenadi dan Saraswati, 1993). Mekanisme pelarutan fosfat dari bahan yang sukar larut oleh aktivitas mikroba lebih banyak dikaitkan dengan aktivitas mikroba bersangkutan

dalam menghasilkan asam-asam organik seperti asetat, propionat, glikolat, fumarat, oksalat, suksinat, tartrat (Banik dan Dey, 1982), sitrat, laktat, dan ketoglutarat (Illmer dan Schinner, 1992; Basyaruddin, 1982). Mekanisme pelarutan fosfat lainnya adalah dari hidrogen sulfida yang dihasilkan oleh beberapa bakteri yang bereaksi dengan besi fosfat membentuk besi sulfida dan P tersedia (Alexander, 1977). Namun, sebagian besar penelitian mikroba pelarut fosfat yang dikemukakan di atas dilakukan pada tanah lahan kering, sehingga efektivitasnya pada tanah sawah belum banyak diketahui.

Hasil uji aplikasi pupuk mikroba pelarut fosfat (PMPF) sebanyak 200 g ha⁻¹ pada padi sawah, di Kebun Percobaan (KP) Muara, Bogor pada MK 1998 dapat mengurangi kebutuhan pupuk NPK sampai dengan 50% dari takaran anjuran (Tabel 8), sedangkan untuk padi sawah pada lahan petani di Desa Sukarahayu, Kecamatan Tambelang – Bekasi, dapat meningkatkan bobot beras sekitar 36% (Tabel 9).

Tabel 8. Pengaruh pupuk mikroba pelarut fosfat (PMPF) pada hasil padi sawah di Kebun Percobaan Muara, Bogor

| Perlakuan | Bobot 100 butir g ha ⁻¹ | Hasil gabah kering t ha ⁻¹ |
|--------------------------------|---------------------------------------|--|
| 100% Takaran standar NPK | 2,81 | 5,78 |
| 75% takaran standar NPK + PMPF | 2,75 | 6,00 |
| 50% takaran standar NPK + PMPF | 2,84 | 5,65 |
| 25% takaran standar NPK + PMPF | 2,80 | 5,13 |

Sumber: Saraswati *et al.* (1998) (unpublished)

Tabel 9. Hasil padi sawah di Desa Sukarahayu, Kecamatan Tambelang, Kabupaten Bekasi yang diberi pupuk mikroba pelarut fosfat (PMPF) (5 kg ha⁻¹) (MT 2002)

| Perlakuan | Jumlah malai per rumpun | Bobot jerami | Bobot gabah isi | Bobot beras |
|-----------|-------------------------|--------------|---------------------|-------------|
| | | | kg ha ⁻¹ | |
| Kontrol | 44,50 cd | 4686 c | 4029 e | 3130 c |
| Zn | 52,75 a | 5737 c | 5145 bcd | 4072 b |
| PMPF+ Zn | 56,75 ab | 6910 ab | 5845 ab | 4583 ab |

Keterangan: Kontrol adalah tanpa inokulasi
Sumber: Saraswati (2001)

Dari Tabel 8 dan 9 tampak bahwa aplikasi pupuk mikroba pelarut fosfat di lahan sawah dapat meningkatkan efisiensi pemupukan P dan meningkatkan hasil padi. Beberapa hasil penelitian ini menunjukkan adanya peluang penggunaan pupuk mikroba pelarut fosfat di lahan sawah, terutama pada lahan-lahan sawah intensif yang telah jenuh P, sehingga penggunaan PMPF dapat menambang P yang tidak tersedia menjadi tersedia. Pemberian Zn pada perlakuan (Tabel 9) diperlukan untuk meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman, karena kelarutan Zn umumnya menurun pada tanah-tanah tergenang sehingga tidak tersedia bagi tanaman (Patrick dan Reddy, 1978).

(4) Mikroba Perombak Bahan Organik

Di dalam ekosistem, mikroorganisme perombak bahan organik memegang peranan penting karena sisa organik yang telah mati diurai menjadi unsur-unsur yang dikembalikan ke dalam tanah dalam bentuk hara mineral N, P, K, Ca, Mg dan atau dalam bentuk gas yang dilepas ke atmosfer berupa CH₄ atau CO₂. Dengan demikian terjadi siklus hara yang berjalan secara alamiah, dan proses kehidupan di muka bumi dapat berlangsung secara berkelanjutan.

Mikroba perombak bahan organik dalam waktu sepuluh tahun terakhir ini mulai banyak digunakan untuk mempercepat proses dekomposisi sisa-sisa tanaman yang banyak mengandung lignin dan selulosa untuk meningkatkan kandungan bahan organik dalam tanah. Selain itu, penggunaannya dapat meningkatkan biomassa dan aktivitas mikroba tanah, mengurangi penyakit, larva insek, biji gulma, dan volume bahan buangan, sehingga dapat meningkatkan kesuburan dan kesehatan tanah.

Pengertian umum mikroorganisme perombak bahan organik atau biodekomposer adalah mikroorganisme pengurai serat, lignin, dan senyawa organik yang mengandung nitrogen dan karbon dari bahan organik (sisa-sisa organik dari jaringan tumbuhan atau hewan yang telah mati). Mikroba perombak bahan organik terdiri atas *Trichoderma reesei*, *T. harzianum*, *T. koningii*, *Phanerochaeta crysosporium*, *Cellulomonas*, *Pseudomonas*, *Thermospora*, *Aspergillus niger*, *A. terreus*, *Penicillium*, dan *Streptomyces*. Cendawan perombak bahan organik umumnya mempunyai kemampuan yang lebih baik dibanding bakteri dalam mengurai sisa-sisa tanaman (hemiselulosa, selulosa dan lignin).

Umumnya mikroba yang mampu mendegradasi selulosa juga mampu mendegradasi hemiselulosa (Alexander, 1977). Menurut Eriksson *et al.* (1989), kelompok cendawan menunjukkan aktivitas biodekomposisi paling nyata, yang dapat segera menjadikan bahan organik tanah terurai menjadi senyawa organik sederhana yang berfungsi sebagai penukar ion dasar yang menyimpan dan melepaskan nutrien di sekitar tanaman.

Beberapa enzim yang terlibat dalam perombakan bahan organik antara lain adalah β -glukosidase, lignin peroksidase (LiP), manganese peroksidase (MnP), dan lakase, selain kelompok enzim reduktase yang merupakan penggabungan dari LiP dan MnP yaitu enzim versatile peroksidase. Enzim-enzim ini dihasilkan oleh *Pleurotus eryngii*, *P. ostreatus*, dan *Bjerkandera adusta* (Lankinen, 2004). Selain mengurai bahan berkayu, sebagian besar cendawan menghasilkan zat yang bersifat racun sehingga dapat dipakai untuk menghambat pertumbuhan/perkembangan organisme pengganggu, seperti beberapa strain *Trichoderma harzianum* yang merupakan salah satu anggota dari Ascomycetes. Apabila kebutuhan karbon (C) tidak tercukupi, cendawan tersebut akan menghasilkan racun yang dapat menggagalkan penetasan telur nematoda *Meloidogyn javanica* (penyebab bengkak akar) sedangkan bila kebutuhan C tercukupi akan bersifat parasit pada telur atau larva nematoda tersebut. Cendawan Zygomycetes (Mucorales) sebagian besar berperan sebagai pengurai amilum, protein dan lemak, dan hanya sebagian kecil yang mampu mengurai selulosa dan khitin.

Pemanfaatan mikroorganisme perombak bahan organik yang sesuai dengan substrat bahan organik dan kondisi tanah merupakan alternatif yang efektif untuk mempercepat terjadinya dekomposisi bahan organik dan sekaligus sebagai suplementasi terhadap pemupukan. Proses perombakan bahan organik yang terjadi secara alami akan membutuhkan waktu relatif lama (2 bulan) sehingga sangat menghambat penggunaan bahan organik sebagai sumber hara. Menghadapi masa tanam yang mendesak pada musim tanam berikutnya, pembenaman bahan organik sering dianggap kurang praktis dan tidak efisien. Untuk mengatasi hal tersebut, perlu dilakukan inokulasi mikroba terpilih perombak bahan organik, guna mempercepat proses perombakan bahan organik. Percepatan perombakan sisa hasil tanaman juga dapat meningkatkan kandungan bahan organik dan ketersediaan hara tanah, sehingga masa penyiapan lahan

dapat lebih singkat dan dapat mempercepat masa tanam berikutnya, yang berarti akan meningkatkan produktivitas lahan.

Penggunaan mikroba perombak bahan organik, untuk mempercepat dekomposisi sisa-sisa tanaman pada lahan pertanian, merupakan salah satu strategi dalam mempertahankan dan meningkatkan kualitas tanah, untuk menghindari imobilisasi hara dan pengaruh alelopati.

EFEKTIVITAS PUPUK HAYATI

Berbagai jenis pupuk hayati dengan beragam komposisi mikroba telah banyak beredar di pasar. Namun jenis pupuk hayati yang peruntukannya untuk lahan sawah masih terbatas. Berikut ini dibahas efektivitas beberapa jenis pupuk hayati yang telah terstandarisasi dan telah teruji bermanfaat bagi lahan sawah, yang juga bermanfaat bagi lahan sawah bukaan baru. Setiap jenis pupuk hayati mempunyai efektivitas yang berbeda tergantung mutunya.

Hasil uji aplikasi BioNutrient sebanyak 200 g ha⁻¹ pada padi sawah var. Sintanur di Ciasem, KP Sukamandi dapat menghemat kebutuhan pupuk urea dan SP-36 hingga 50% (Tabel 12), dengan prakiraan tambahan keuntungan usaha tani sekitar Rp 832.500,- (Tabel 13). Kenaikan produksi padi meningkat pada musim kedua. Hal ini menunjukkan bahwa sejalan dengan waktu, pemberian pupuk hayati dan pupuk organik meningkatkan kesuburan tanah.

Tabel 12. Hasil padi sawah yang diinokulasi dengan BioNutrient selama 2 (dua) musim (KP BB Padi, Sukamandi, MK 2007)

| Perlakuan | Hasil gabah | |
|---|------------------------------|---------|
| | Musim 1 | Musim 2 |
| | ———— t ha ⁻¹ ———— | |
| 200 kg urea ha ⁻¹ + 75 kg SP-36 ha ⁻¹ + 50 kg KCl ha ⁻¹ + jerami-MDec (5 t ha ⁻¹) | 6,1 | 7,1 |
| 100 kg urea ha ⁻¹ + 37,5 kg SP-36 ha ⁻¹ + BioNutrient (200 g ha ⁻¹) + jerami-MDec (5 t ha ⁻¹) | 6,3 | 7,4 |

Sumber: Saraswati *et al.* (2007) (unpublished)

Tabel 13. Prakiraan tambahan keuntungan usaha tani dengan penggunaan paket teknologi pupuk hayati - pupuk organik - pupuk kimia pada pertanaman padi di lahan Sawah, Sukamandi, MK. 2007

| Peningkatan nilai pendapatan petani (per ha) | Harga satuan | Harga total |
|--|----------------|-------------|
| | ————— Rp ————— | |
| Penghematan biaya pupuk | | |
| - Urea 50% (=125 kg) | 1.500 | 187.500 |
| - SP-36 25% (=37,5 kg) | 2.000 | 70.000 |
| - KCl 100% (=0 kg) | 3.500 | 175.000 |
| Total | | 432.500 |
| Pembelian M-Dec 4 kg 6 ton jerami | 25.000 | 100.000 |
| BioNutrient 200 g ha ⁻¹ | 100.000 | 100.000 |
| Keuntungan I | | 232.500 |
| Produksi padi rata-rata 6 t ha ⁻¹ | | |
| Peningkatan produksi padi 5% = 300 kg | 2.000 | 600.000 |
| Tambahan keuntungan riil | | 832.500 |

Hasil uji aplikasi penggunaan pupuk hayati granular BioKom (320 kg ha⁻¹) pada padi sawah, selain dapat mengurangi kebutuhan pupuk urea dan SP-36 hingga 50%, dan KCl 100%, juga dapat meningkatkan hasil padi hingga 30-50% (Tabel 14). Hal ini menunjukkan bahwa pupuk hayati mempunyai peluang besar bagi peningkatan produktivitas padi sawah dan keuntungan usaha tani.

Tabel 14. Hasil padi sawah yang diinokulasi dengan BioKom (KP BB Padi, Sukamandi, MK 2007)

| Perlakuan | Hasil gabah t ha ⁻¹ |
|--|-----------------------------------|
| 200 kg urea ha ⁻¹ + 75 kg SP-36 ha ⁻¹ + 50 kg KCl ha ⁻¹ + jerami-MDec (5 t ha ⁻¹) | 8,79 |
| Tanpa pemupukan kimia + jerami-pukan (7 t ha ⁻¹) + MOL (sesuai anjuran SRI) | 7,24 |
| Tanpa pemupukan | 6,13 |
| 100 kg urea ha ⁻¹ + 37,5 kg SP-36 ha ⁻¹ + biokom (320 kg ha ⁻¹) + jerami-MDec (5 t ha ⁻¹) | 9,27 |
| 100 kg urea ha ⁻¹ + 37,5 kg SP-36 ha ⁻¹ + biokom (320 kg ha ⁻¹) + BioNutrient (200g ha ⁻¹) | 10,65 |

Sumber: Saraswati *et al.* (2007) (unpublished)

KETERSEDIAAN PUPUK HAYATI

Sampai tahun 2006, jumlah pupuk hayati komersial yang terdaftar di Departemen Pertanian baru mencapai 41 jenis/merek pupuk hayati, sedangkan jumlah yang belum terdaftar tetapi sudah beredar di pasar diperkirakan jauh lebih banyak (Husen *et al.*, 2007). Sebagian besar pupuk hayati komersial yang terdaftar tersebut dilaporkan berupa pupuk hayati majemuk (mengandung lebih dari satu jenis mikroba) dengan mutu beragam. Namun, pupuk hayati tunggal (mengandung satu jenis mikroba) yang dikhususkan untuk lahan sawah, misalnya Sioobakteri penambat N₂ untuk tanah-tanah tergenang (sawah) belum pernah dilaporkan.

Beberapa jenis pupuk hayati yang sudah terstandarisasi mutunya untuk tanah sawah dapat berupa pupuk hayati perombak bahan organik dan penyubur tanah. Mikroba perombak bahan organik telah tersedia secara komersial, seperti EM-4 dan M-Dec, demikian pula halnya pupuk mikroba penyubur tanah seperti

BioNutrient, Emas, dan BioKom. Untuk meningkatkan keefektifan pupuk hayati yang diberikan pada lahan sawah bukaan baru, sangat disarankan untuk mengembalikan residu tanaman sebelumnya untuk penanaman berikutnya, dan agar penggunaan bahan organik lebih efisien maka dianjurkan untuk menggunakan mikroba perombak bahan organik untuk mempercepat proses pengomposan agar bahan organik tanah dan hara yang dibutuhkan tanaman dapat segera tersedia.

PENUTUP

Pemilihan pupuk hayati yang sesuai untuk lahan sawah mensyaratkan pemahaman atas karakteristik tanah sawah yang mencakup dinamika/ perubahan sifat kimia dan struktur komunitas mikroba selama proses penggenangan. Banyak manfaat yang dapat diperoleh dari penggunaan pupuk hayati pada tanah sawah bukaan baru. Penggunaan pupuk hayati seperti bakteri penambat N_2 dan pemacu tumbuh tanaman, mikroba pelarut fosfat, dan perombak bahan organik merupakan salah satu pendekatan untuk meningkatkan kesuburan tanah sawah bukaan baru dan produktivitasnya secara berkelanjutan.

Dalam program pengembangan sawah baru, strategi yang paling tepat untuk melindungi dan mempertahankan kesuburan tanah adalah penggunaan pupuk sintetik yang dipadukan dengan pupuk organik dan pupuk hayati. Penggunaan mikroba perombak bahan organik sangat disarankan digunakan di lahan sawah mengingat sebagian besar lahan sawah memiliki kandungan C-organik yang rendah. Pengembalian bahan organik jerami yang dikomposkan terlebih dahulu dengan mikroba perombak bahan organik dapat menekan biaya pembelian pupuk karena jerami merupakan sumber hara utama kalium.

Masih terbatasnya produk pupuk hayati yang khusus diperuntukkan untuk lahan sawah merupakan salah satu penyebab belum meluasnya penggunaan pupuk hayati. Pembuatan pupuk hayati bermutu untuk lahan sawah mempunyai prospek yang baik untuk meningkatkan produktivitas lahan sawah dan sekaligus untuk mengantisipasi makin mahal dan langkanya pupuk sintetik.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiningsih, S.J. dan S. Rochayati. 1988. Peranan bahan organik dalam meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk dan produktivitas tanah. hlm. 161-182 *dalam* Prosiding Lokakarya Nasional Penggunaan Pupuk. Cipayung, 16-17 November 1987. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Albrecht, S.L. 1998. Eukaryotic algae and Cyanobacteria. p. 94-131. *In* D.M. Silvia, J.J. Fuhrmann, P.G. Hartel, and D.A. Zuberer (*Eds.*). Principles and Application of Soil Microbiology. Prentice-Hall. Inc.
- Alexander, M. 1977. Introduction to Soil Mycobiology. 2nd Ed. John Wiley and Sons. New York. 467 p.
- Banik, S. and B.K. Dey. 1982. Available phosphate content of an alluvial soil as influenced by inoculation of some isolated phosphate-solubilizing micro-organisms. *Plant and Soil* 69: 353-364.
- Baldani J.I, L. Caruso Vera, L.D. Baldani, Silvia R. Goi, and J. Dobereiner. 1997. Recent advance in BNF with non-legume plants. *Soil Biology and Biochemistry* 29(5/6): 911-922.
- Bastian F., A. Colum, D. Piccoli, V. Lunas, R. Baraldi, and Bottini. 1998. Production of indole-3-acetic acid and giberrellines A₁ dan A₃ by *Acetobacter diazotrophicus* and *Herbaspirillum seropedicae* in chemically-defined culture media. *Plant Growth Regulation* 24: 7-11.
- Basyarudin. 1982. Penelaahan Serapan dan Pelepasan Fosfat dalam Hubungannya dengan Kebutuhan Tanaman Jagung (*Zea mays L.*) pada Tanah Ultisol dan Andisol. Tesis. Fakultas Pasca Sarjana, IPB, Bogor.
- Boddey, R.M., de O.C. Oliviera, S. Urquiaga, V.M. Reis, F.L. Olivares, V.L.D. Baldani, and J. Dobereiner. 1995. Biological nitrogen fixation associated with sugar cane and rice: contributions and prospects for improvement. *Plant Soil* 174: 195-209.
- Bossio, D.A. and K.M. Scow. 1995. Impact of carbon and flooding on the metabolic diversity of microbial communities in soils. *Appl. Environ. Microbiol.* 61: 4.043-4.050.

- Chasan, R. 1993. Embryogenesis: new molecular insight. *The Plant Cell*. 5: 597-599.
- Eriksson, K.E.L., R.L. Blanchette, and P. Ander. 1989. Microbial and enzymatic degradation of wood and wood components. Springer-Verlag, Berlin-Hydelberg, New York. 230 pp.
- Gaunt, L., H.U. Neue, K.G. Cassman, D.C. Olk, R.M. Arah, C. Witt, J.C.G. Ottow, and I.F. Grant. 1995. Microbial biomass and organic matter turnover in wetland rice soils. *Biol Fertil Soils* 19: 333-342.
- Goenadi, D. H. dan R. Saraswati. 1993. Kemampuan melarutkan fosfat dari beberapa isolat fungi pelarut fosfat. *Menara Perkebunan* 61(3): 61-66.
- Husen, E., R.D.M. Simanungkalit, R. Saraswati, and Irawan. 2007. Characterization and quality assessment of Indonesian commercial biofertilizers. *Indonesian Journal of Agricultural Science* 8(1): 31-38.
- Illmer, P. and F. Schinner. 1992. Solubilization of inorganic phosphate by microorganisms isolated from forest soils. *Soil Biol. Biochem.* 24: 389-395.
- Ito, J. 1977. Behaviour and fixation of nitrogen in paddy field. *Niigata Agronomy*. 13: 51-61 (In Japanese).
- James E. and F.L. Olivares. 1997. Infection and colonization of sugarcane and other graminaceous plants by endophytic diazotrophicus. *Plant Science*. 17: 77-119.
- James E.K., P. Gyaneshwara, W.L. Barraquio, N. Mathan, and J.K Ladha. 2000. Endophytic diazotroph associated with rice. *In* J K Ladha, P M Reddy (Eds.). *The Quest for Nitrogen Fixation in Rice*. IRRI.
- Kennedy, A.C. and V.L. Gewin. 1997. Soil microbial diversity: Present and future considerations. *Soil Sci.* 162: 607-617.
- Kyuma, K. 2004. *Paddy Soil Science*. Kyoto University Press. 280 pp.
- Ladha, J.K. and P.M. Reddy. 1995. Extension of nitrogen fixation to rice: necessity and possibilities. *GeoJournal* 35: 363-372.
- Ladha, J.K, F.J. de Bruijn, and K.A. Malik. 1997. Introducing assessing opportunities for nitrogen fixation in rice: a frontier project. *Plant and Soil* 194: 1-10.

- Lankinen, P. 2004. Ligninolytic enzymes of the basidiomycetous fungi *Agaricus bisporus* and *Phlebia radiata* on lignocellulose-containing media. Academic Dissertation in Microbiology. <http://www.u.arizona.edu/~leam/lankinen.pdf>. (10 Desember 2005).
- Ludemann, H., I. Arth, and W. Liesack. 2000. Spatial changes in the bacterial community structure along a vertical oxygen gradient in flooded paddy soil cores. *Appl. Environ. Microbiol.* 66: 754-762.
- Madigan, M. T., J.M. Martinko, and J. Parker. 2002. Brock, Biology of Microorganism. Prentice Hall. Canada. 991 p.
- Maor, R., S. Haskin, H. Levi-Kedmi, and A. Sharon. 2004. In planta production of indole-3-acetic acid by *Colletotrichum gloeosporioides* f. sp. *Aeschynomene*. *App. Environ. Microbiol.* 70: 1.852-1.854.
- Matoh, T., R. Saraswati, and J. Sekiya. 1992. Growth characteristics of sesbania under adverse condition in relation to use as green manure in Japan. *Soil Science and Plant Nutrition* 38(4): 741-747 Japan.
- Miles, C.O., M.E. diMena, S.W.L. Jacobs, I. Garthwaite, G.A. Lane, R.A. Prestidge, S.L. Marshal, H.H. Wilkinson, C.L. Schardl, O.J.P. Ball, and C.M. Latch. 1998. Endophytic fungi in indigenous Australian grasses associated with toxicity to livestock. *Appl. Environ. Microbiol.* 64: 601-606.
- Olivares, F.L., V.L.D. Baldani, V.M. Reis, J.I. Baldani, and J. Dobereiner. 1996. Occurrence of the endophytic diazotrophs *Herbaspirillum* spp. in roots, stems and leaves predominantly of Gramineae. *Biol. Fertil. Soils* 21: 197-200.
- Ono, S. and H. Koga. 1984. Natural nitrogen accumulation in paddy soil in relation to nitrogen fixation by blue-green algae. *Jpn. Journal Soil Science and Plant Nutrition* 55: 465-470 (In Japanese).
- Patrick, W. H., and C. N. Reddy. 1978. Chemical changes in rice soils. p. 361-379. *In* IRRI (*Ed.*) *Soil and Rice*. IRRI, Los Banos. Philippines.
- Ponnamperuma, F. N. 1972. The chemistry of submerged soils. *Adv. In Agron.* 24: 29-96.
- Prihatini, T. dan S. Komariah. 1988. Pemanfaatan *Azolla* spp. dalam budi daya padi sawah. hlm. 217-227 *dalam* *Prosiding Pertemuan Teknis Penelitian Tanah*. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.

- Quispel, A. 1974. General Introduction. p. 1-8. *In* The Biology of Nitrogen Fixation, North-Holland Res. Monographs. Vol. 33 (Cited from Kawaguchi, K *Ed.*) 1978. Paddy Soil Science. Kodansha, Tokyo. In Japanese).
- Reichardt, W., G. Mascarina, B. Padre, and J. Doll. 1997. Microbial Communities of Continuously Cropped. *Appl. Environ. Microbiol.* 63: 233-238.
- Roger, P.A. and J.K. Ladha. 1992. Biological N₂ fixation in wetland rice fields: Estimation and contribution to nitrogen balance. p. 41-55. *In* J.K. Ladha, T. George, and B.B. Bohlool (*Eds.*). Biological Nitrogen Fixation for Sustainable Agriculture. Kluwer Acad. Publ. The Netherlands.
- Saraswati, R., T. Match, and J. Sekiya. 1992. Nitrogen fixation of *Sesbania rostrata*: contribution of stem nodules to nitrogen acquisition. *Soil Science and Plant Nutrition.* 38(4): 775-780. Japan.
- Saraswati, R. 2001. Reduksi Pencemaran Lahan Pertanian oleh Senyawa Logam Berat dengan Teknologi Bioremediasi. Laporan Akhir Riset Unggulan Terpadu VIII. 2001-1003. Kantor Menteri Negara Riset dan Teknologi.
- Schroth, M.N. and A.R. Weinhold. 1986. Root colonizing bacteria and plant health. *Hort. Sci.* 21: 1.295-1.298.
- Stahl, D.A., M. Hullar, and S. Davidson. 2006. The structure and function of microbial communities. p. 299-327. *In* M. Dworkin, S. Falkow, E. Rosenberg, K. Schleifer, E. Stackebrandt (*Eds.*) The Prokaryotes (3rd ed), A Handbook on the Biology of Bacteria. Springer. Singapore.
- Tien, T.M, M.H. Gaskin, and D.H. Hubell. 1979. Plant growth substances produced by *Azospirillum brasilense* and their effect on the growth of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.). *Appl. Environ. Microbiol.* 37: 1.016-1.024.
- Yosidha, T. 1978. Microbial metabolism in rice soils. p. 445-463. *In* IRRI (*Ed.*) Soils and Rice. IRRI. Los Banos. Philippines.
- Watanabe, I. and C.C. Liu. 1992. Improving nitrogen-fixing systems and integrating them into sustainable rice farming. *Plant and Soil* 141: 57-67.

9. EPILOG

Fahmuddin Agus dan Neneng L. Nurida

Buku ini telah menguraikan berbagai aspek teknis pengelolaan tanah sawah bukaan baru. Bab II tentang sebaran dan potensi pengembangan lahan sawah bukaan baru mempunyai arti penting dalam memberikan arahan di mana saja sawah baru secara teknis dapat dibuka. Bab tersebut dengan peta sebaran yang ditampilkan atau dikutip dapat dijadikan acuan sebelum dilakukan pencetakan sawah baru. Bab III tentang genesis tanah sawah lebih menekankan aspek keilmuan dari sawah yang baru dibuka; terutama berkenaan dengan mineralogi dan sifat profilnya. Lima bab berikutnya (Bab IV sampai VIII) berisikan teknik pengelolaan lahan sawah bukaan baru agar tanah sawah yang baru dibuka, yang biasanya mempunyai banyak masalah fisika, kimia, biologi dan ketersediaan air masih dapat dikelola dengan produksi yang memuaskan.

Selain berbagai aspek teknis tersebut diperlukan pertimbangan tentang pembelajaran apa yang dapat kita ambil dari pencetakan sawah, baik dari cerita sukses (*success stories*) maupun cerita kegagalan (*failure stories*). Pembelajaran tersebut antara lain apakah sawah yang baru dicetak tersebut memang digunakan sesuai dengan rencana, apakah petani target segera siap menggunakan lahan sawah baru tersebut, apakah kelembagaan penunjang cukup untuk mendukung suatu kawasan persawahan baru, dan apakah infrastruktur persawahan yang dibangun memang sudah memenuhi ketentuan sehingga pasokan air, misalnya, memang cukup untuk suatu persawahan.

Epilog dari buku ini, walaupun tidak membahas secara komprehensif, mengangkat beberapa butir penting untuk dipertimbangkan dan dilakukan sebelum pencetakan lahan sawah dilakukan. Sebagian dari butir-butir yang dibahas dalam bab ini sudah didokumentasi pada berbagai makalah atau buku, namun seringkali bentuk ideal seperti yang dimuat pada berbagai tulisan berbeda dengan pelaksanaan di lapangan. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan interpretasi, perbedaan kepentingan, dan ketidaklengkapan informasi. Mudah-mudahan bahasan yang diberikan dalam Bab ini bisa membantu mengurangi masalah yang terjadi pada masa lalu berkenaan dengan terbengkalainya sawah

yang baru dibuka atau digunakannya sawah yang baru dibuka dengan modal yang tinggi tersebut, untuk penggunaan lain.

Direktorat Jenderal Pengelolaan Lahan dan Air (Ditjen PLA) sudah menyusun strategi kebijakan perluasan areal sawah. Empat strategi yang disebutkan, berikut penjabarannya adalah (Manan, 2007):

(1) Memanfaatkan sumber daya alam secara optimal,

Agar sumber daya alam dapat dimanfaatkan secara optimal maka perlu dilakukan penambahan luas baku lahan sawah yaitu dengan membuka areal sawah baru yang sebelumnya belum pernah dibuka menjadi lahan pertanian. Pembukaan lahan sawah baru harus dilakukan melalui sistem perencanaan dan monitoring yang baik, dengan memperhatikan aspek teknis (tata ruang wilayah, tipologi lahan, iklim, sumber air, prasarana, ekosistem wilayah dan lainnya), aspek ekonomis (jenis komoditas, pengolahan dan pemasaran dan lainnya), aspek sosial budaya (keadaan masyarakatnya, keberlanjutan usaha pertanian) serta pertimbangan dari aspek politik. Kondisi tersebut sangat diperlukan untuk mewujudkan pelaksanaan kegiatan perluasan areal kawasan pertanian yang optimal, efektif dan efisien dan berkesinambungan.

(2) Mengembangkan kawasan,

Prioritas perluasan areal sawah yang berbasis komoditas harus dilakukan dalam suatu kawasan pengembangan. Dalam pengembangan kawasan pertanian harus diperhatikan potensi wilayah, infrastruktur, peluang pasar dan ketertarikan antar sektor sehingga dapat memberikan manfaat ekonomi secara lebih adil dan merata antar wilayah, antar pelaku ekonomi dan antar generasi yang dapat memberikan dampak positif terhadap peningkatan produksi dan pendapatan petani serta perbaikan ekonomi.

(3) Menggunakan pola partisipatif,

Perluasan areal sawah harus dilakukan dengan pola partisipatif dengan meningkatkan kemampuan sumber daya manusia dalam suatu wadah organisasi/kelompok petani yang kuat, mandiri dan proaktif sehingga perluasan areal sawah dapat memberikan manfaat bagi masyarakat.

(4) Meningkatkan koordinasi.

Koordinasi terhadap semua stakeholder terkait dalam perencanaan, monitoring dan pelaksanaan perluasan areal sawah perlu ditingkatkan, sehingga dapat terwujud penambahan baku lahan sawah yang efektif, efisien dan berwawasan lingkungan.

Keempat strategi ini dapat dijadikan pedoman utama, namun dapat dijabarkan lebih lanjut. Uraian pada bab ini diharapkan dapat saling melengkapi dengan empat butir strategi yang sudah ada.

Budaya Petani

Sawah di Indonesia merupakan bagian penting dari budaya Indonesia, terutama budaya Jawa dan Sunda. Bahkan sebagian besar sawah terbaik yang ada di Pulau Jawa dibuat secara tradisional secara bertahap sejak ribuan tahun yang lalu. Petani di Jawa cenderung menjadikan lahannya sebagai lahan sawah asalkan air cukup tersedia. Petani transmigran yang berasal dari Pulau Jawa juga mencetak sawah pada lembah-lembah yang cukup airnya. Keberadaan etnis Jawa sangat menentukan kesuksesan penggunaan sawah bukaan baru tersebut.

Di Provinsi Papua dan Papua Barat, misalnya, sawah yang baru dibuka digarap secara memuaskan oleh petani transmigran terutama yang berasal dari Pulau Jawa. Sebaliknya sangat kecil proporsi etnis Papua yang menyatu dengan budaya persawahan disebabkan basis pertanian mereka adalah pertanian lahan kering dengan pola perladangan berpindah. Contoh serupa juga ditemukan di Provinsi Riau, di mana etnis Melayu Riau tidak mudah menerima sistem persawahan.

Perbauran etnis antara Jawa dan non-Jawa, misalnya melalui pelatihan bersama untuk pengelolaan sawah, diperlukan agar etnis non-Jawa yang belum terbiasa dengan sawah dapat mengenal dan menyatu dengan budaya persawahan.

Tanaman Padi versus Tanaman Lain

Di lokasi transmigrasi Sitiung, misalnya, pada awal tahun delapan puluhan, banyak petani menggarap sawah setelah dicetaknya sawah dan

dibangunnya Proyek Irigasi Sungai Jujuhan. Akan tetapi pada tahun sembilan puluhan, sebagian sawah berubah menjadi perkebunan kelapa sawit. Hal ini disebabkan salah satu atau gabungan dari dua masalah yaitu (i) tingginya insentif ekonomi untuk menanam sawit dan (ii) sebagian lahan sawah bukaan baru tersebut tidak layak secara teknis karena tidak cukup pasokan airnya sehingga tanaman padi tidak tumbuh secara memuaskan.

Besarnya keuntungan yang hilang (*opportunity cost*) untuk penggunaan lahan sawah untuk komoditas lain sangat penting untuk diperhatikan. Misalnya, apabila sawah yang baru dibuka berada di sekitar areal perkebunan sawit dan sarana serta prasarana penunjang untuk alih guna lahan sawah tersebut cukup tersedia, maka besar kemungkinan lahan sawah tersebut akan dialihgunakan menjadi kebun plasma kelapa sawit karena *opportunity cost*nya lebih tinggi. Selain itu tanaman perkebunan seperti sawit memerlukan tenaga kerja yang jauh lebih sedikit dibandingkan tanaman padi sawah. Dengan demikian prospek keberhasilan pencetakan sawah akan rendah, kecuali pada daerah yang aksesnya terhadap pangan relatif kecil. Karena pada daerah dengan akses pangan kecil, keberadaan sawah akan dapat meningkatkan ketahanan pangan rumah tangga.

Petani yang berorientasi subsisten (untuk pemenuhan kebutuhan keluarga) cenderung lebih mudah menerima sistem persawahan, dan sebaliknya petani yang berorientasi komersial akan mengutamakan tanaman bernilai ekonomi tinggi.

Aspek Kelembagaan

Untuk menunjang suatu persawahan diperlukan beberapa bentuk kelembagaan yaitu (Badan Litbang Pertanian, 2007): (1) kelembagaan penyedia *input* usaha tani; (2) kelembagaan penyedia permodalan; (3) kelembagaan pemenuhan tenaga kerja; (4) kelembagaan penyediaan lahan dan air irigasi; (5) kelembagaan usaha tani; (6) kelembagaan pengolahan hasil pertanian; (7) kelembagaan pemasaran hasil pertanian; dan (8) kelembagaan penyedia informasi (penyuluhan) teknologi, pasar dan lain-lain. Penumbuhan dan pengembangan kelembagaan di suatu lokasi dilakukan berdasarkan prinsip

kebutuhan, efisiensi dan manfaat. Selain itu juga perlu kelompok tani, gabungan kelompok tani (gapoktan), dan toko/warung.

Pengembangan wilayah untuk perluasan areal sawah akan terhambat tanpa adanya lembaga yang menjalankan fungsi kelembagaan yang dibutuhkan petani. Dengan demikian, sejalan dengan pencetakan sawah dan pembangunan sarana irigasi, maka kelembagaan pendukung ini perlu pula dibangun.

Insentif untuk bersawah

Disadari atau tidak, selain menghasilkan barang yang dapat dipasarkan (*marketable goods*) petani sawah menghasilkan berbagai jasa yang merupakan barang publik (*public goods*) berupa jasa lingkungan, ketahanan pangan, dan berbagai jasa sosial, ekonomi, dan budaya. Jasa-jasa ini dihasilkan oleh petani dengan menggunakan lahan dan modal pribadinya. Petani hanya menikmati secara langsung hasil padi yang merupakan barang yang dapat dipasarkan, sedangkan untuk barang publik yang dihasilkannya, belum dapat dihargai dalam sistem pasar dan sistem kebijakan yang ada sekarang. Dalam keadaan tidak ada pilihan lain maka petani sawah akan tetap mempertahankan sawahnya. Tapi apabila ada pilihan lain dengan insentif yang lebih menarik (*opportunity cost* lebih tinggi), maka petani cenderung mengalih-gunakan lahan sawahnya (Agus *et al.*, 2006; Agus, 2006). Sawah bukaan baru mempunyai disinsentif yang lebih tinggi karena ketidaklengkapan atau ketidakmapanan sarana dan prasarana pendukung.

Di Jepang, keberadaan sawah didukung oleh masyarakat dan pemerintah (Kada, 2006), karena baik masyarakat maupun pemerintah menerima berbagai jasa yang dihasilkan oleh lahan sawah. Dukungan tersebut ada dalam bentuk pembayaran langsung dan berbagai perlindungan dan penetapan harga dasar beras yang tinggi.

Untuk keadaan Indonesia jasa petani sawah akan lebih penting lagi terutama karena sumbangan mereka dalam ketahanan pangan. Hal ini disebabkan karena krisis pangan akan menyebabkan masalah sosial dan selanjutnya mengancam kestabilan pemerintahan. Namun masalah pentingnya ketahanan pangan dan pentingnya sawah serta petaninya tidak disadari dalam

keadaan produksi pangan berlimpah. Ini terbukti dengan tidak terkendalinya konversi lahan sawah ke penggunaan lain.

Cara yang dapat ditempuh dalam meningkatkan insentif bertani pada lahan sawah bukaan baru antara lain adalah dengan meningkatkan kepastian hukum (sertifikasi hak penguasaan), konsistensi pemerintah/Badan Urusan Logistik (BULOG) dalam pemberlakuan harga dasar gabah, perbaikan sistem irigasi, dan penjaminan ketersediaan serta pengawasan mutu pupuk dan obat-obatan (Agus, 2006).

Di lain pihak disinsentif dalam konversi lahan sawah juga perlu ditingkatkan melalui pengetatan peraturan perundang-undangan, keharusan pencetakan lahan sawah dua sampai tiga kali luas lahan sawah yang dikonversi lengkap dengan sarana irigasinya dan sebagainya.

Kepastian Penguasaan Lahan (*land tenure*)

Proses pencetakan sawah baru dihadapkan pada proses sertifikasi tanah. Tanah yang akan disawahkan bisa saja milik perseorangan yang merelakan lahannya dijadikan sawah untuk digarap sendiri atau digarap orang lain, milik pemerintah yang memerlukan suatu proses sertifikasi terhadap calon petani sawah, atau lahan milik adat/tanah ulayat yang proses pembebasannya jauh lebih rumit.

Masalah sertifikasi tanah haruslah jelas. Perangkat peraturan keagrariaan diperlukan untuk menjamin keberlanjutan pengelolaan lahan sawah baru tersebut.

Kadaan Infrastruktur

Penyiapan infrastruktur merupakan hal utama yang harus diprioritaskan, mengingat lahan yang akan dikonversi menjadi sawah kebanyakan berupa lahan kering terlantar, lahan rawa, atau belukar yang belum pernah menjadi lahan pertanian. Pembangunan infrastruktur terutama jaringan irigasi menjadi sangat penting. Selain itu sarana transportasi juga akan menunjang terjadinya interaksi ekonomi antar wilayah sehingga akan mempercepat pengembangan suatu wilayah.

Pendekatan Partisipatif versus Pencapaian Target

Seperti sudah disebutkan oleh (Manan, 2007) pendekatan partisipatif merupakan pendekatan yang sangat strategis dalam pencetakan lahan sawah baru. Ini berarti bahwa diperlukan adanya keinginan dari akar rumput (*grass roots*) untuk mengelola lahan sawah serta dukungan dari para pihak dan pemerintah setempat untuk menggunakan lahannya sebagai sawah. Konsistensi dari pemerintah antara satu periode pemerintahan dengan periode berikutnya sangat diperlukan sehingga lahan tersebut dipelihara secara lestari sebagai lahan sawah.

Akan tetapi pendekatan partisipatif sering dikalahkan oleh target pencapaian proyek. Apabila proyek sudah menargetkan pembukaan lahan sawah dengan luas tertentu, maka pada pelaksanaannya pendekatan partisipatif sering dikesampingkan, karena pendekatan ini dianggap makan waktu, biaya, serta rumit pelaksanaannya. Apabila pendekatan ini dilaksanakan, maka sering menyebabkan tidak tercapainya angka yang sudah dipatok pada suatu proyek.

Walaupun pendekatan partisipatif tidak semudah diucapkan, namun perlu dengan sungguh-sungguh dilaksanakan. Jika tidak, pendekatan tersebut hanya berupa retorika dan akan berdampak pada terbengkalainya sawah yang baru dibuka.

Penilaian partisipatif (*participatory appraisal*) seharusnya dilaksanakan minimal satu tahun sebelum pencetakan sawah dimulai. Hasil pendekatan partisipatif akan menentukan dimana, berapa luas, dan siapa saja petani yang akan bergerak di bidang persawahan. Sesudah data ini dipunyai, baru pendanaan untuk pembukaan sawah baru seyogianya dialokasikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus F (Ed). 2006. Final Report Country Case Studies on multifunctionality of Agriculture in ASEAN Countries. The ASEAN Secretariat, Jakarta
- Agus, F., I. Irawan, H. Suhganda, W. Wahyunto, A. Setiyanto, dan M. Kundarto. 2006. Environmental Multifunctionality of Indonesian Agriculture. Paddy Water Environment 4:181-188.

- Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. 2007. Modul Identifikasi dan Masalah Pengembangan Usaha Agribisnis dan Assessment Sumber daya Lahan. Departemen Pertanian.
- Kada, R. 2006. Multifunctionality of agriculture and recent policy reforms in Japan. hlm. 22-23 *dalam* Prosiding Seminar Multifungsi dan Revitalisasi Pertanian. Bogor, Indonesia, 27-28 Juni 2006. Badan Litbang Pertanian, Jakarta.
- Manan, H. 2007. Strategi dan arah program pencetakan sawah baru. *Dalam* Seminar Nasional Sumber daya Lahan dan Lingkungan. Balai Besar Litbang Sumber daya Lahan Pertanian. Badan Litbang Pertanian.